FÍSICA PROGRAMADA

VOLUMEN V

TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA

JOSEPH
Y LEAHY

LIMUSA
WILEY

AUTORES:

Alexander Joseph
Profesor Titular de Física,
Jefe de la División de Ciencias
y Matemáticas
College of Police Science of the
City University of New York

Daniel J. Leahy
Profesor de Matemáticas
Escuela de Estudios Generales
Hunter College, Nueva York.

FISICA PROGRAMADA

VOLUMEN V: TOPICOS DE FISICA MODERNA

FISICA PROGRAMADA

VOLUMEN V: TOPICOS DE FISICA MODERNA

Dr. Alexander Joseph

Profesor Titular de Ciencias.
Jefe de la División
de Ciencias y Matemáticas,
College of Police Science of the
City University of New York.

Daniel J. Leahy

Profesor de Matemáticas,
Escuela de Estudios Generales,
Hunter College, Nueva York.

EDITORIAL LIMUSA
MEXICO 1973

Prólogo al maestro

Este volumen es el último de una serie de cinco que, en conjunto, constituyen el texto para un curso programado de física de un año; los precedentes: I, Mecánica; II, Electricidad y Magnetismo; III, Optica y Ondas, y IV, Teoría Cinética y Termodinámica (que ya se han publicado) presentan el material que se suele impartir en los respectivos cursos introductorios.

Tópicos de física moderna tratan, en concreto, de la teoría cuántica y la teoría del fotón, la dualidad onda-partícula, la teoría del átomo e incluyen una introducción elemental a la física del núcleo. Se supone que el estudiante posee los conocimientos básicos de mecánica, electricidad, magnetismo, óptica y ondas, además de la destreza en el manejo de expresiones matemáticas, requeridos para aprobar el curso de álgebra intermedia. En las páginas 11-13, incluimos una prueba de estos conocimientos. Se debe pedir al estudiante que tome esta prueba antes de comenzar el programa y que repase los temas de física o matemáticas en los cuales tenga algunas deficiencias, de acuerdo con los resultados de la prueba.

Al igual que los otros volúmenes de la serie, éste se puede usar como libro de texto básico, sin tener que consultar otro de tipo convencional y sólo con una supervisión mínima por parte del maestro. Desde luego, también puede usarse como suplemento de cualquier texto estándar elegido como medio principal de instrucción; en todo caso, siempre que sea posible, recomendamos complementar la enseñanza con demostraciones, discusiones y exposiciones, en el salón de clase; películas adecuadas y prácticas de laboratorio.

Esta serie de textos programados está destinada primordialmente para el último curso de bachillerato y el primero de facultad. Creemos que, en especial, es útil y apropiada para estudiantes de Humanidades y Ciencias Sociales que no habían tomado un curso de física a nivel medio, y que se ajusta bien a los programas para estudiantes que aspiran a ingresar en los Institutos Técnicos.

Nuevamente deseamos agradecer al personal de John Wiley and Sons, la ayuda que nos brindó para preparar esta serie de textos programados. Damos gracias especialmente a la señorita Judy Van-

trease, quien leyó el manuscrito y proporcionó muchas sugerencias valiosas con respecto a las técnicas de programación; a las señoritas Dorothy Garbose y Carole Schwager quienes supervisaron la producción del manuscrito; y al señor George Flohn y a los miembros del departamento de ilustraciones por la excelente ejecución de los diagramas.

ALEXANDER JOSEPH
DANIEL J. LEAHY

Ciudad de Nueva York
Septiembre, 1966

Contenido

INSTRUCCIONES PARA EL ESTUDIANTE *9*

PRUEBA DE REQUISITOS *11*

CAPÍTULO UNO

Dualidad onda-partícula: fotones y ondas **15**

1. Cavidades radiantes; el cuanto de energía de Planck; estados cuantizados de energía y la naturaleza cuántica de la energía radiante 16
2. Efecto fotoeléctrico 30
3. Teoría del fotón 42
4. Efecto Compton; energía cinética y cantidad de movimientos de un fotón 51
5. Ondas asociadas a la materia 63
6. Repaso y problemas 72

PROBLEMAS 77

CAPÍTULO DOS

La física del átomo **81**

1. El átomo de Rutherford 82
2. Espectro de líneas; serie espectral del hidrógeno 101
3. Teoría de Bohr del átomo de hidrógeno 112
4. El átomo de hidrógeno de Bohr (continuación) 123
5. Absorción de energía y ionización 135
6. Aplicación de la teoría de Bohr para iones semejantes al hidrógeno y átomos de muchos electrones 148
7. La producción de rayos X 155
8. Repaso y problemas 164

PROBLEMAS 170

CAPÍTULO TRES

Física nuclear *173*

1. Substancias radiactivas y sus emanaciones 174
2. Cambios de energía que ocurren en el decaimiento radiactivo; símbolos y ecuaciones nucleares 184
3. Las formas del decaimiento radiactivo; la vida media 196
4. Defectos de masa y energías de amarre 210
5. Otras transformaciones nucleares: Radioisótopos 220
6. Gráfica N-Z de los isótopos; formas del decaimiento radiactivo; captura del electrón-K 229
7. Fisión nuclear; elementos transuránicos 236
8. Fuerzas nucleares y fusión 251
9. Repaso y problemas 264

PROBLEMAS 270

Instrucciones para el estudiante

Este libro es un texto *programado*. Esto significa: 1) que los temas de un curso introductorio de física se han subdividido en una serie de pasos breves y sencillos, y 2) que dichos pasos se presentan en la forma y secuencia que, según se comprobó, son las más convenientes para un aprendizaje eficaz.

Cada paso se presenta en un espacio llamado *cuadro*. Cada cuadro expone cierta cantidad de información y, en seguida, plantea una pregunta o un problema para que el estudiante lo conteste o resuelva, a fin de comprobar su aprovechamiento antes de seguir adelante con el programa. Puede escribir sus respuestas a estas preguntas en el espacio asignado para ello en el cuadro, o bien en una hoja aparte, según le indique su profesor.

Cuando haya escrito su(s) respuesta(s) podrá verificar su validez comparándola(s) con la(s) correcta(s) que está(n) debajo de los asteriscos que indican el final de cada cuadro. Por ejemplo:

1. El metro es una cantidad de longitud que contiene 39.37 pulgadas. Una longitud de dos metros contiene _____ pulgadas.

* * * * *

78.74.

2. El metro se emplea para medir (peso/longitud/tiempo) y es equivalente a _____ pulgadas.

* * * * *

longitud; 39.37.

Los *paneles* a que se hace referencia se encuentran al final del libro y se pueden desdoblar para facilitar la consulta, cuando el estudiante trabaja con ellos.

Se proporciona una cubierta a fin de que usted pueda tapar la respuesta correcta del cuadro en que esté trabajando y de todos los

cuadros subsecuentes de una página, hasta que haya escrito su respuesta y esté listo para comprobarla. Entonces deslizará la cubierta para ver la respuesta correcta que está debajo de los asteriscos.

Prueba de los requisitos para los tópicos de física moderna

En el espacio asignado a la derecha, escriba el número de la respuesta correcta. Si ninguna de las respuestas es correcta, escriba "cero" en el espacio.

1. Una masa de 10 kg se mueve a una velocidad de 5 m/seg. Su energía cinética es:
(1) 250 ergs (2) 250 joules; (3) 125 ergs (4) 125 joules (5) 250 N 1. _____

2. Una carga puntual de 5×10^{-6} coulombs se coloca a 10 metros de otra carga puntual de 1×10^{-6} coulombs. Su energía potencial eléctrica es:
(1) 4.5×10^{-4} ergs (2) 4.5×10^{-4} joules (3) 4.5×10^{-3} joules (4) 4,500 volts (5) 4.5×10^{-3} volts

$\left(\text{Use } k = 9 \times 10^9 \dfrac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{coulombs}^2}\right)$ 2. _____

3. Una esfera metálica hueca tiene una carga de 5×10^{-6} coulombs. El radio de la esfera es 0.5 m. El potencial eléctrico en la superficie de la esfera es:
(1) 9×10^4 N/coulombs (2) 4.5×10^4 joules (3) 4.5×10^4 volts (4) 9×10^4 volts (5) 9×10^4 joules 3. _____

4. El potencial eléctrico de un punto que se encuentra a una distancia de 1 metro del centro de la esfera del problema 3 es:
(1) 9×10^4 volts (2) 4.5×10^4 ergs (3) 4.5×10^3 joules (4) 9×10^4 joules (5) 45,000 volts 4. _____

5. El potencial eléctrico en un punto que se encuentra a 0.1 m del centro de la esfera del problema 3 es:
(1) cero (2) 45,000 volts (3) 9×10^4 joules (4) 9×10^4 volts (5) 4.5×10^4 joules 5. _____

6. La intensidad de campo en un punto que se encuentra a 0.1 m del centro de la esfera del problema 3 es:
(1) cero (2) 45 N/coulombs (3) 4,500 volts (4) 450,000 joules (5) 45 coulombs 6. _____

7. La intensidad de campo en un punto que se encuentra a 3 m del centro de la esfera en el problema 3 es:
(1) 45,000 volts (2) 45,000 N/coulombs (3) 4.5×10^4 coulombs (4) 45,000 joules (5) 4.5×10^{-3} ergs 7. _____

8. La diferencia de potencial entre dos placas paralelas grandes, que se encuentran dentro de un recipiente al vacío, es de 20,000 volts. La distancia entre las placas es de 0.05 m. Calcule el cambio en la energía cinética de una partícula con una carga de 5×10^{-10} coulombs conforme se mueve de la placa positiva a la placa negativa
(1) 1,000 ergs (2) 20,000 volts (3) 1×10^{-5} joules (4) 20,000 ergs (5) 20,000 electrón-volts 8. _____

9. Es característico de todas las ondas electromagnéticas tener la misma:
(1) frecuencia (2) longitud de onda (3) intensidad (4) rapidez (5) coherencia en el vacío 9. _____

10. La corriente eléctrica se mide en:
(1) volts (2) ohms (3) watts (4) amperes (5) coulombs 10. _____

11. Dadas $E = hf$ y $c = fL$. Escriba una expresión para E en términos de h, f y L. (c es una constante).

(1) hcL (2) $\frac{L}{hc}$ (3) $\frac{c}{hL}$ (4) $hc - L$ (5) $\frac{h}{cL}$ 11. _____

12. Una masa de 10 kg se está moviendo con una velocidad de 5 m/seg hacia el Oeste. La magnitud de su cantidad de movimiento es:
(1) 250 N (2) 250 joules (3) 250 kg-m/seg
(4) 50 joules (5) kg-m/seg 12. _____

13. Cuando dos masas, dentro de un sistema aislado, interaccionan entre sí, ¿cuál de las siguientes cantidades debe conservarse?
(1) energía cinética (2) energía potencial (3) cantidad de movimiento (4) velocidad (5) aceleración 13. _____

14. La masa de un electrón es 9×10^{-31} kg. Calcule la magnitud de la fuerza necesaria para acelerarlo de 3×10^3 m/seg hacia el Oeste hasta 5×10^3 m/seg hacia el Oeste en 0.1 seg
(1) 4.5×10^{-26} newtons (2) 1.8×10^{-26} dinas
(3) 1.8×10^{-26} newtons (4) 1.8×10^{-26} ergs
(5) 4.5×10^{-26} joules 14. _____

15. Conociendo que $mvr = nh/2\pi$ y $mv^2/r = kq^2/r^2$. Elimine v y resuelva para r en términos de las otras cantidades.

1) $\dfrac{m^2h^2q^2}{4\pi km}$ 2) $\dfrac{4\pi k^2}{n^2h^2mq}$ 3) $\dfrac{4\pi^2km}{n^2\pi^2q^2}$

4) $\dfrac{n^2h^2}{4\pi^2kmq^2}$ 5) $\dfrac{4\pi^2kh^2}{mq^2n^2}$ 15. _____

Abreviaturas

Unidad	*Abreviatura*
metro(s)	m
centímetro(s)	cm
segundo(s)	seg
kilogramo(s)	kg
gramo(s)	g
kilómetro(s)	km
newton(s)	N
joule(s)	J
libra(s)	lb
pulgada(s)	plg
atmósfera(s)	atm

CAPITULO 1

Dualidad onda-partícula: Fotones y ondas

OBJETIVOS

Al terminar este capítulo, el estudiante debe ser capaz de hacer lo siguiente:

1. Describir las cavidades radiantes.
2. Explicar la teoría cuántica de Planck sobre la radiación de una cavidad.
3. Describir la relación entre la temperatura y la intensidad de la radiación de una cavidad.
4. Describir el efecto fotoeléctrico.
5. Describir cómo la corriente fotoeléctrica depende de la intensidad, del potencial de retardo, etc.
6. Describir cómo la energía cinética de los fotoelectrones depende de la intensidad, potencial de retardo, etc.
7. Describir la teoría de la radiación en función del fotón.
8. Establecer y emplear la ecuación de Einstein para el fotoelectrón.
9. Describir la dispersión de Compton y explicar por qué es evidencia de la teoría del fotón.
10. Calcular la energía cinética y la cantidad de movimiento de un fotón.
11. Establecer la hipótesis onda-corpúsculo de De Broglie y calcular las longitudes de onda de las ondas asociadas a las partículas.
12. Describir un experimento que sugiera la existencia de las ondas asociadas.
13. Describir la dualidad onda-partícula y establecer el principio de complementariedad de Bohr.

16/dualidad onda-partícula

Sección I. Cavidades radiantes; el cuanto de energía de Planck; estados cuantizados de energía y naturaleza cuántica de la energía radiante

1. En el capítulo 2 de física programada, Vol. IV, introdujimos la noción de un "cuerpo negro" como una superficie que no refleja la radiación electromagnética que incide sobre él. Cualquier superficie que no refleja la radiación que incide sobre ella, absorbe (toda/alguna/ninguna) radiación.

* * * * *

toda.

2. Una estructura física que absorbe toda la radiación que incide sobre ella (es/no es) un cuerpo negro.

* * * * *

es.

3. En el capítulo dos, vimos que el poder de emisión de una superficie es igual a su poder de absorción. Una estructura física que no refleja la radiación que incide sobre ella (es/no es) una superficie con un poder de emisión máximo.

* * * * *

es.

4. Supongamos que tomamos un cilindro hueco hecho de un material conveniente (una substancia con un alto punto de fusión como el tungsteno o platino) y perforamos un pequeño agujero (llamado cavidad) en su superficie lateral.

Esta *cavidad* es un espacio vacío; refleja (toda/alguna/ninguna) radiación que incide sobre ella.

* * * * *

ninguna.

5. Si consideramos que la cavidad perforada en el cilindro es una "superficie", entonces la cavidad es una superficie que absorbe toda

la radiación que incide sobre ella y no la refleja. La (cavidad/el cilindro) es un cuerpo negro.

* * * * *

cavidad.

6. A temperaturas a las que el cilindro de tungsteno descrito en el cuadro 5 no emite ondas electromagnéticas visibles, sino que se ve solamente por luz reflejada, la cavidad en su pared es (más brillante/más obscura) que el resto del cilindro. ¿Por qué?.

* * * * *

más obscura (no *refleja* luz.)

7. Cuando el cilindro descrito en el cuadro 4 se coloca en un cuarto *obscuro,* podemos verlo solamente por la luz que *emite.*

Supongamos entonces que el cilindro de tungsteno se calienta suficientemente para que brille, como se indica en la figura 1 del panel 1. En esta situación, la cavidad es (más brillante/menos brillante) que el resto porque la (superficie del cilindro/cavidad) es el mejor emisor de radiación.

* * * * *

más brillante, cavidad.

8. Un método conveniente para comparar la radiación emitida por diferentes superficies y cavidades es comparar las *intensidades* de sus radiaciones. La intensidad es la cantidad de energía que sale de la superficie o de la cavidad radiante dividida entre la unidad de área del radiador en un segundo. Supongamos que se emiten 10 joules de una cavidad que tienen una área de 2×10^{-5} m^2 en 20 segundos. La intensidad de esta radiación es _____ (*número y unidades*).

Cuando la cavidad es más obscura que el resto de la superficie del cilindro, la intensidad de la radiación que sale de ella es (mayor/menor) que el resto del cilindro. Cuando la cavidad es (más brillante/más obscura) que el resto del cilindro, la intensidad de la radiación proveniente de la cavidad es mayor que la del resto del cilindro.

* * * * *

$$\frac{10 \text{ joules}}{(2 \times 10^{-5} \text{ m}^2)(20 \text{ seg})} = 0.25 \times 10^5 \frac{\text{joules}}{\text{m}^2\text{-seg}}$$

menos; más brillante.

9. De acuerdo con el significado, aceptado popularmente, de las palabras, la comparación de la radiación de diferentes superficies en términos de "más obscura" y "más brillante" es factible solamente si las ondas electromagnéticas emitidas son (visibles/invisibles). Se ha mostrado que una cavidad radiante es también un "cuerpo negro" para ondas infrarrojas, las cuales son la causa de los fenómenos que observamos como transferencia de calor por radiación.

La figura 2 del panel 1 es una clasificación de las ondas electromagnéticas de acuerdo con su frecuencia. De ella vemos que las ondas infrarrojas (son/no son) visibles; (es/no es) posible comparar la intensidad de la radiación infrarroja procedente de diferentes superficies en términos de las palabras "más obscura" y "más brillante", de acuerdo con el significado usual de estas palabras.

* * * * *

visible; no son; no es.

10. Existen dispositivos que miden la energía que sale de una superficie en la forma de ondas infrarrojas. (Podemos/no podemos) entonces, comparar las *intensidades* de la radiación proveniente de diferentes superficies cuando la radiación no se encuentra en la forma de luz visible.

* * * * *

podemos (por tanto, los físicos extienden algunas veces el significado de las palabras "más brillante" y "más obscuro" para designar *intensidades* más altas o más bajas).

11. Una cavidad radiante no refleja la luz visible que incide sobre ella; refleja (todas/algunas/ninguna) de las ondas infrarrojas que inciden sobre ella. Una cavidad radiante (es/no es) un "cuerpo negro" para la radiación infrarroja.

* * * * *

ninguna; es.

12. Conforme se calienta un cilindro hueco de tungsteno con una cavidad en su superficie, podemos detectar las ondas infrarrojas antes de que podamos percibir la luz visible. En este momento, la intensidad de la radiación procedente de las paredes del cilindro es (mayor/menor) que la procedente de la cavidad.

* * * * *

menor.

13. El experimento indica que la intensidad de la radiación de una *cavidad* es independiente del material donde exista la cavidad. Se perforan pequeños agujeros en dos cilindros huecos, uno hecho de tungsteno, el otro de platino. Ambos se calientan hasta la misma temperatura y se hacen mediciones de la intensidad de la radiación proveniente de las cavidades. La intensidad de la radiación emitida por la cavidad en el tungsteno es (mayor que/menor que/igual a) la intensiad de la radiación procedente de la cavidad en el cilindro de platino.

* * * * *

igual a.

14. La intensidad de la radiación procedente de cualquier cuerpo negro (depende de/es independiente de) su temperatura. Podemos esperar que la intensidad de la radiación proveniente de una cavidad radiante (aumente/disminuya/permanezca constante) conforme aumenta su temperatura. De las cavidades hechas en diferentes substancias y a la misma temperatura esperamos (diferentes intensidades/la misma intensidad de la radiación).

* * * * *

depende de; aumenta; la misma intensidad.

15. Existen diferentes maneras de medir la intensidad de la radiación de diferentes frecuencias en la misma cavidad. Una de las cosas que indican tales mediciones es cómo varía la intensidad de algún tipo específico de radiación (por ejemplo, luz infrarroja, ultravioleta, etc.) con la temperatura del radiador. *Podemos detectar radiación infrarroja a temperaturas menores de las que detectamos la radiación visible.*

La frecuencia de la luz visible es (mayor que/menor que/igual que) la de la infrarroja. Estos hechos sugieren que la frecuencia radiada con intensidad máxima tiende a (aumentar/disminuir/permanecer constante) conforme aumenta la temperatura de una cavidad radiante.

* * * * *

mayor que; aumentar.

16. Panel 2. Examine la figura 1 y lea el párrafo descriptivo. $f_{máx}$ en cada curva representa la frecuencia particular que es radiada

con una intensidad máxima a la temperatura indicada. A 10,000 °K la frecuencia que es radiada con una intensidad máxima se encuentra en la porción (infrarroja/visible/ultravioleta) del espectro. La frecuencia radiada con una intensidad máxima a temperatura ambiente (aproximadamente 27 °C) tiene un orden de magnitud de (10^{12}/visible; $10^{13}/10^{14}$) Hz.
Conforme aumenta la temperatura de una cavidad radiante, la frecuencia de la onda radiada con una intensidad máxima se desplaza a la (izquierda/derecha), en esta gráfica

* * * * *

visible; 10^{13} (27 °C son 300 °K); derecha (es decir, hacia frecuencias más altas).

17. Panel 2, figura 1. Para obtener una frecuencia de máxima intensidad en la región ultravioleta del espectro, la temperatura de la cavidad radiante debe ser (mayor que/menor que) 10,000 °K.

* * * * *

mayor que.

18. Debe recordar de su estudio de óptica y ondas, que la frecuencia f y la longitud de onda λ de cualquier onda son inversamente proporcionales entre sí. Esto significa que las longitudes de onda de espectro infrarrojo (son más largas que/más cortas que/iguales que) la longitud de onda del espectro visible.

* * * * *

más grandes que (puesto que tienen frecuencias menores).

19. Panel 2. Examine la figura 2. Es una gráfica de la intensidad de la radiación de una cavidad radiante a cierta temperatura en función de las longitudes de onda de la radiación electromagnética emitida. Los pequeños círculos representan valores experimentales reales. La curva continua y la punteada son gráficas de las ecuaciones que se formularon para predecir los valores experimentales. A la izquierda, las curvas correspondientes a las ecuaciones de Wien y de Planck coinciden (de manera que solamente se indica la curva continua) y ambas se ajustan (bien/mal) a los datos experimentales para longitudes de onda pequeñas. Para longitudes de onda mayores que 3×10^{-6}m, [(1) ninguna se ajusta a los datos experimentales/(2) la ley de Wien se ajusta mejor a los datos experimentales que la de Planck/(3) la ley de Planck se ajusta mejor a los datos

experimentales que la de Wien/(4) ambas leyes se ajustan igualmente bien a los datos experimentales].

* * * * *

bien; (3).

20. La ecuación de (Wien/Planck) es consistente para todo el intervalo de los datos experimentales mostrados en la figura 2 del panel 2.

* * * * *

de Planck.

21. Ninguna de las ecuaciones, de Wien o de Planck, que relacionan la intensidad con la longitud de onda a una temperatura específica es de gran importancia teórica en la actualidad, de manera que no las consideraremos con mayor detalle. Lo que es de gran importancia teórica es la suposición que Planck hizo respecto a la energía radiante, la cual le permitió predecir correctamente la relación experimental que se ilustra en la figura 2 del panel 2.

En aquella época (alrededor de 1900), se sabía que ciertos tipos de radiación electromagnética resultaban de la aceleración de partículas eléctricamente cargadas, y fue una de las suposiciones de la teoría clásica de la radiación electromagnética (formulada alrededor de 1870) sobre que toda la radiación electromagnética era el resultado de algún tipo de aceleración de cargas eléctricas.

Las ondas de radio se producen cuando los electrones oscilan en una antena con un movimiento armónico simple, una forma del movimiento acelerado. La producción de ondas de radio (es/no es) consistente con la teoría clásica.

* * * * *

·so

22. La mayoría de los físicos creyeron que la radiación de la calidad implicada en la figura 2 del panel 2 resultaba de la oscilación de cargas en "antenas" microscópicas u osciladores (probablemente átomos y moléculas) en las paredes alrededor de la cavidad. Se sabe que los átomos y las moléculas de las paredes alrededor de la cavidad están en un estado continuo de oscilación; esto significa que las cargas en ellos están (siempre/algunas veces/nunca) acelerando y que cada oscilador microscópico debe radiar energía (continuamente/discontinuamente).

* * * * *

siempre (es decir, excepto en donde el desplazamiento de la posición de equilibrio es cero).
continuamente

23. En la formulación de su ecuación, Wien hizo la suposición clásica de que los osciladores microscópicos de las paredes alrededor de la cavidad emiten la radiación en forma continua; la figura 2 del panel 2 muestra que la teoría clásica (es/no es) consistente con todas las propiedades observadas en una cavidad radiante.

* * * * *

no es.

24. Al tratar de explicar la radiación emitida por una cavidad, Planck supuso que aunque las cargas en los átomos y las moléculas de las paredes alrededor de una cavidad oscilaban continuamente, no emitían radiación en forma continua. Esta suposición (es/no es) consistente con la teoría clásica de la radiación electromagnética.

* * * * *

no es.

25. Planck supuso, además, que los osciladores microscópicos que causan la radiación de la cavidad podían existir solamente en ciertos estados permisibles de energía, los cuales son múltiplos enteros de una cantidad hf, en donde h es una constante y f es la frecuencia con la cual ocurre la oscilación.

La ecuación $E = nhf$ describe un estado permisible de energía si n es (cualquier número entero/cualquiera fracción).

* * * * *

cualquier número entero.

26. Planck supuso que *mientras un oscilador se encuentra en uno cualquiera de sus estados permisibles de energía, no emite ni absorbe energía.* En un estado permisible de energía, la carga de un oscilador (continúa/se detiene) acelerando; (radía/no radía) energía.

* * * * *

continúa; no radía.

27. $E = nhf$. El valor de h cuando E está en joules y f en hertz es

6.63×10^{-34} joules·seg. El producto hf se llama un *cuanto de energía,* y n se llama un *número cuántico.*

El cuanto de energía asociada con un oscilador que tiene una frecuencia de 10^{12} Hz es _____ joules.

Cuando este oscilador existe en un estado de energía con un número cuántico 2, su energía es _____ joules.

* * * * *

$hf = (6.63 \times 10^{-34}$ joules·seg.) $(10^{12}/\text{seg.})$
$= \mathbf{6.63 \times 10^{-22}}$ **joules**
$E = nhf = 2(6.63 \times 10^{-22}$ joules $= \mathbf{1.33 \times 10^{-21}}$ **joules**

28. $E = nhf$. Esta ecuación describe un _____ permisible cuando n es un _____

¿Puede existir el oscilador descrito en el cuadro 27 con una energía de 2×10^{-22} joules? (Si/No) Explique

* * * * *

estado de energía; número entero; ¡No! Ya que 2×10^{-22} joules no es un múltiplo entero de 6.63×10^{-22} joules, que es el cuanto de energía para este oscilador particular.

29. De acuerdo con Planck, las cavidades oscilantes existen solamente en estados _____ de energía; mientras un oscilador se encuentre en uno de estos estados de energía (continúa omitiendo/no emite) radiación, y (absorbe/no absorbe) energía.

* * * * *

permisible; no emite; no absorbe.

30. Un oscilador no puede tener cualquier energía; solamente puede tener las energías especificadas por el producto (nhf), en donde f es la _____ con la cual vibra la carga asociada al oscilador. El producto hf es llamado un _____ de energía para este oscilador en concreto. n puede tomar (solamente fracciones/solamente números enteros/un número fraccional o entero) como valores.

* * * * *

frecuencia; cuanto; solamente números enteros.

31. Planck supuso, finalmente, que un oscilador que causa la radiación de una cavidad *emitía realmente una onda electromagnética solamente cuando cambiaba de un estado permisible de energía a otro*

con un número cuántico menor. Supongamos, por tanto, que un oscilador vibra con una frecuencia de 10^{13} Hz y existe en un estado de energía que tiene un número cuántico 3. La energía del oscilador en este estado particular es _____ joule. La onda electromagnética que emite este oscilador mientras está en este estado de energía tiene una energía de _____ joule. ¿Emitirá radiación este oscilador al cambiar a un nivel permisible de energía con un número cuántico 4? (Sí/No). ¿Emitirá radiación conforme cambia a un nivel permisible de energía con un número cuántico 2? (Sí/No).

* * * * *

$E = nhf = (3)\ (6.63 \times 10^{-34})(10^{13}) = 1.99 \times 10^{-20}$ joule; cero (0) (Un oscilador no emite radiación mientras se encuentra en un estado de energía permitido.); No; Sí.

32. De acuerdo con la teoría clásica, las ondas electromagnéticas emitidas por un oscilador que vibre con una frecuencia f deben ser (continuas/discontinuas). De acuerdo con la suposición de Planck, estas ondas se emiten solamente cuando el oscilador cambia de un estado de energía a otro con un número (menor/mayor) cuántico y deberán ser, por tanto (continuas/discontinuas).

* * * * *

continuas; menor; discontinuas.

33. La diferencia entre estos estados es la energía emitida en la forma de radiación electromagnética cuando un oscilador cambia de un estado de energía (E_2) a otro (E_1) con un número cuántico menor.

Sean $E_2 = n_2hf$ y $E_1 = n_1hf$. La energía emitida cuando ocurre esta transición es $E_2 = E_1 =$ (_____) (*utilice símbolos*).

* * * * *

$$E_2 - E_1 = n_2hf - n_1hf$$
$$= (n_2 - n_1)hf.$$

34. $E_2 = E_1 = (n_2 - n_1)\ hf$. El producto hf es un _____ de _____ para un oscilador con una frecuencia f. Como n_2 y n_1 son ambos números enteros y $n_2 > n_1$, la cantidad $(n_2 - n_1)$ (es/no es) un número entero y tiene un valor mínimo de — (*número*).

* * * * *

cuanto (de) energía; es; 1.

35. De acuerdo con las suposiciones de Planck, la energía emitida por un oscilador en cualquier transición de un estado de energía a otro con un número cuántico menor (puede/no puede) ser menor que un cuanto de energía. Supongamos que un oscilador está vibrando con una frecuencia de 10^{10} Hz. Su cuanto de energía es _____ joule. Bajo cualquier transición posible a otro estado, ¿puede emitir energía radiante con un valor de 2.21×10^{-24} joule? (Sí/No) Explique. ¿Podría posiblemente emitir radiación electromagnética con un valor de 11.05×10^{-24} joule? (Si/No). Explique.

* * * * *

no puede; $(6.63 \times 10^{-34})(10^{10}) = 6.63 \times 10^{-24}$ joule.
No. Esta es menor que *un* cuanto de energía.
No. Esta no es un multiplo entero de energía.

36. Supongamos un oscilador en las paredes de una cavidad radiante con una frecuencia de 10^{14} Hz y existe en un estado de energía en el cual $n = 5$. La energía del oscilador mientras está en este estado es _____ joule. La energía electromagnética que emite mientras está en este estado es_____ joule.

* * * * *

$E = nhf$
$E = (5)(6.63 \times 10^{-34})(10^{14})$
$= \mathbf{33.15 \times 10^{-20}}$ **joule.**
cero (un oscilador no emite energía mientras está en un estado permitido).

37. Supongamos que el oscilador descrito en el cuadro 36 cambia a un estado permitido de energía en el cual $n = 3$. Calcule la energía emitida durante la transición.

* * * * *

$\Delta E = E_2 - E_1 = (n_2 - n_1)\ hf$
$= (5 - 3)(6.63 \times 10^{-34})(10^{14})$
$= \mathbf{13.26 \times 10^{-20}}$ **joule.**

38. Con referencia al oscilador descrito en los cuadros 36 y 37. La energía emitida mientras el oscilador se encuentra en un estado de energía permitido con un número cuántico $n = 3$, es _____ joule. La mínima cantidad de energía que puede emitir este oscilador en

una transición de un estado de energía a otro es _____ joule o un _____

* * * * *

cero

$hf = (6.63 \times 10^{-34})(10^{14})$

$= 6.63 \times 10^{-20}$ joule

cuanto.

39. Según las suposiciones de Planck, la radiación de cualquier oscilador en las paredes de una cavidad es emitida (continuamente/discontinuamente). Decimos que esta energía está *cuantizada* para indicar que existe una cierta cantidad (mínima/máxima) de ella a la cual llamamos un _____ de energía.

* * * * *

discontinuamente; mínima; cuanto.

40. De su estudio de la electricidad estática debe recordar que existe una cantidad mínima de carga eléctrica, 1.6×10^{-19} coulombs, que es la carga de un electrón. Debido a que la carga eléctrica (es/no es) un múltiplo entero de este mínimo, la carga eléctrica (está/no está) cuantizada.

* * * * *

es; está.

41. De acuerdo con la teoría clásica; la radiación de cualquier oscilador en las paredes de una cavidad radiante se emite en forma (continua/discontinua). De acuerdo con la teoría clásica, esta energía (está/no está) cuantizada.

* * * * *

continuamente; no está.

42. La constante h se llama constante de Planck. Junto con la velocidad de la luz en el vacío representa una de las constantes más importantes de la ciencia. Su valor, 6.63×10^{-34} joule-seg, debe memorizarse. Los valores que asignamos a n en la ecuación para el

estado de energía se llaman números _____, y el producto ____ se llama un cuanto de energía.

* * * * *

cuánticos; hf.

43. $c = 3 \times 10^8$ m/seg en el vacío y se conoce como (constante de Planck/velocidad de la luz).

$h = 6.63 \times 10^{-34}$ joule-seg y se conoce como (constante de Planck/velocidad de la luz).

* * * * *

velocidad de la luz; constante de Planck.

44. Las suposiciones de Planck sobre la radiación de los osciladores microscópicos en las paredes de una cavidad radiante constituyen los primeros pasos en la teoría cuántica de la radiación electromagnética, la cual, en nuestro tiempo, ha superado a la teoría clásica.

Planck supone que un oscilador emite o absorbe energía (continuamente/en cantidades discretas) y solamente [(1) cuando se encuentra en un estado de energía permitido/(2) cuando está pasando de un estado permitido a otro].

* * * * *

en cantidades discretas; (2).

45. De acuerdo con Planck, un oscilador *absorbe* energía radiante solamente cuando pasa de un nivel de energía permitido a otro con un número cuántico (mayor/menor) y *emite* energía radiante solamente cuando pasa de un nivel de energía permitido a otro con un número cuántico (mayor/menor). Debido a que la energía absorbida o emitida por una cavidad radiante es siempre un entero múltiplo de una cierta cantidad mínima, se dice que está _____

* * * * *

superior; menor; cuantizado.

46. El oscilador de la cavidad vibrando con una frecuencia de f Hz puede emitir o absorber una cierta cantidad (máxima/mínima) de

energía radiante dada por el producto ____ y llamada un _____ de energía.

* * * * *

mínimo; $h\nu$; cuanto.

47. Supongamos que el oscilador de la cavidad está vibrando con una frecuencia de 2×10^{13} Hz y existe en un estado de energía con un número cuántico 2. Mientras se encuentra en el estado de energía, emite energía radiante igual a _____ joule y absorbe energía radiante igual a _____ joule. La energía que debe absorber para pasar a un estado con un número cuántico 4 es _____ joule. ¿Puede absorber energía radiante igual a 6.63×10^{-21} joule? (Sí/No) Explique su respuesta.

* * * * *

cero; cero;

$E_2 - E_1 = (n_2 - n_1)$

$= (2 - 4)(6.63 \times 10^{-34})(2 \times 10^{13})$

$= 26.52 \times 10^{-21}$ joule (El signo negativo indica que la energía es absorbida.)

No. Es menor que un cuanto de energía.

48. *Repaso.* La teoría de Planck sobre la cavidad radiante está basada en dos suposiciones con respecto a los osciladores microscópicos en las paredes de la cavidad. Seleccione esas suposiciones a partir de:
(1) Un oscilador de la cavidad emite energía radiante en forma continua porque contiene partículas cargadas eléctricamente, las cuales están en un estado de continua vibración.
(2) Un oscilador de la cavidad puede existir en cualquier estado de energía independientemente de su frecuencia de vibración.
(3) Un oscilador emite o absorbe energía radiante solamente cuando pasa de un nivel a otro.
(4) Un oscilador de la cavidad puede existir en cualquier estado de energía que sea una fracción múltiple de su cuanto de energía.
(5) Un oscilador de la cavidad puede existir solamente en estados de energía que sean múltiplos enteros de su cuanto de energía.

* * * * *

(3) ; (5).

49. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) El oscilador de cavidad tiene un cuanto de energía que es independiente de su frecuencia de vibración.
(2) Un cuanto de energía es el estado de máxima energía en el cual puede existir el oscilador.
(3) Un oscilador de la cavidad tiene un cuanto de energía que es inversamente proporcional a su frecuencia de vibración.
(4) Un oscilador de la cavidad emite o absorbe energía radiante en múltiplos enteros de su cuanto de energía.
(5) La cantidad mínima de energía emitida o absorbida por un oscilador de la cavidad es un cuanto de energía.
(6) Un oscilador de la cavidad puede absorber energía radiante igual a 1.5 veces su cuanto de energía.

* * * * *

(4); (5).

50. *Repaso.* Planck explicó la radiación de la cavidad suponiendo que las ondas electromagnéticas eran emitidas por _____ que se encontraban en las paredes de la cavidad. En esta suposición, (estuvo de acuerdo/no estuvo de acuerdo) con la teoría clásica.

Planck formuló una ecuación que se ajustó adecuadamente a la distribución experimental de las intensidades de la radiación en toda la escala de las longitudes de onda de las ondas emitidas por una cavidad a una temperatura dada, suponiendo que estos mecanismos emitían radiación (continuamente/en cantidades discretas). A este respecto él (estuvo de acuerdo/no estuvo de acuerdo con la teoría clásica).

* * * * *

los osciladores; estuvo de acuerdo; en cantidades discretas; no estuvo de acuerdo.

51. *Repaso.* La distribución de la intensidad de la radiación procedente de la cavidad para varias frecuencias (depende de/es independiente de) la temperatura de la cavidad radiante y (depende de/es independiente de) el material con el cual se encuentre la cavidad radiante.

* * * * *

depende de; es independiente de.

52. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) Conforme la temperatura de una cavidad radiante aumenta, la frecuencia de la onda electromagnética, que es emitida con una frecuencia máxima, disminuye.
(2) Si a cierta temperatura T, una cavidad radiante emite radiación de máxima intensidad en la región infrarroja del espectro, debe calentarse a una temperatura superior para producir una onda de intensidad máxima en la parte visible del espectro.
(3) La radiación infrarroja es visible.
(4) Una cavidad radiante no absorbe las ondas electromagnéticas que inciden sobre ella.
(5) La radiación en la región ultravioleta del espectro tiene una longitud de onda más corta que la radiación infrarroja.
(6) h recibe el nombre de constante de Planck.

* * * * *

(2); (5).

53. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones no son verdaderas?
(1) Los estados de energía para un oscilador de la cavidad están cuantizados.
(2) La energía emitida o absorbida por un oscilador de la cavidad no tiene un valor mínimo.
(3) La energía emitida o absorbida por el oscilador de la cavidad está cuantizada.
(4) Conforme aumenta la frecuencia de un oscilador, también aumenta su cuanto de energía.
(5) La energía de un oscilador es independiente del número cuántico del estado en el cual existe.
(6) La energía radiante emitida por un oscilador de la calidad es siempre igual al estado de energía del oscilador.

* * * * *

(2); (5); (6).

Sección 2. Efecto fotoeléctrico

1. En su estudio de la electricidad y el magnetismo el alumno ha aprendido que las ondas electromagnéticas son cambios periódicos en

los campos eléctricos y magnéticos y que se desplazan a través del espacio a la velocidad de la luz. Una onda electromagnética consiste, en parte, en un campo eléctrico oscilante que hará que una partícula cargada eléctricamente oscile si está libre.

Cuando una onda electromagnética pasa a través de una región del espacio donde existen electrones libres, los electrones (oscilan/no oscilan) con el campo eléctrico variable producido por la onda.

* * * * *

oscilan (debido a que los electrones son partículas cargadas).

2. Las ondas de radio (son/no son) ondas electromagnéticas. Un receptor de ondas de radio (llamado antena) consiste en una pieza de metal a través de la cual pasan estas ondas. Los portadores de carga que se pueden mover libremente en una (metal) antena son (iones positivos/electrones). Conforme la onda pasa a través de la antena, aumenta la energía _____ de los portadores de carga que se pueden mover.

* * * * *

son; electrones; cinética.

3. La detección de ondas de radio en una antena indica que el campo eléctrico asociado con una onda electromagnética puede influenciar el movimiento de los electrones de un metal. Los campos eléctricos se hicieron suficientemente grandes para poder quitar electrones de las superficies metálicas. Esto sugiere que las ondas electromagnéticas (pueden/no pueden) emplearse para aumentar la energía cinética de un electrón libre de un metal hasta un punto donde pueda escapar del metal.

* * * * *

pueden.

3a. No se han encontrado ondas de radio que saquen electrones de las superficies metálicas; pero en 1900 se observó que ocurría algo parecido a esto cuando se empleaba radiación electromagnética ultravioleta. Lea el experimento descrito en el panel 3 cuidadosamente y haga referencia a él conforme sea necesario en éste y en los siguientes cuadros.

En el paso 2 del experimento, la iluminación de la placa de cinc

por la luz ultravioleta [(1) carga/(2) descarga/(3) no tiene un efecto observable sobre] el electroscopio.

* * * * *

(2); (3); (1).

4. Recordemos que una carga positiva resulta de (un exceso/una deficiencia) de electrones y que una carga negativa resulta de (un exceso/una deficiencia) de electrones.

* * * * *

una deficiencia; un exceso.

5. Panel 3. Podemos explicar el colapso de las hojas en el paso 2 si la luz ultravioleta que ilumina la placa de cinc [(1) quita la carga positiva de/(2) quita los electrones a/(3) agrega electrones a] la placa de cinc.

Podemos explicar la carga (positiva/negativa) dada al electroscopio en el paso 6 si la luz ultravioleta [(1) quita la carga positiva de/(2) quita electrones a/(3) agrega electrones a] la placa de cinc.

* * * * *

(2); positiva; (2).

6. Panel 3. Podemos explicar el colapso de las hojas en el paso 2 si la luz ultravioleta que ilumina la placa de cinc [(1) quita carga postiva de/(2) quita electrones de/(3) agrega electrones a] el cinc.

Podemos explicar la carga (positiva/negativa) dada al electroscopio en el paso 6 si la luz ultravioleta [(1) quita carga positiva a/(2) quita electrones de/(3) agrega electrones a] la placa de cinc.

* * * * *

(2); positiva; (2).

7. La luz ultravioleta (es/no es) una parte del espectro electromagnético. Una posible explicación de los pasos 2 y 5 del experimento descrito en el panel 3 es que el campo _____ de la radiación incidente aumenta la energía cinética de los _____ del cinc hasta un punto en donde pueden escapar a la superficie.

* * * * *

es; eléctrico; electrones.

8. Panel 3. La iluminación de la placa de cinc en la figura 4 (descarga/no descarga) el electroscopio. Esto sugiere que la energía suministrada por la radiación ultravioleta incidente (es/no es) suficientemente grande para sacar iones positivos del metal.

Sabemos del paso 2 que la radiación incidente proporciona suficiente energía para sacar electrones. Si esto ocurre en la figura 4, las hojas deben alejarse más. ¿Puede usted dar una razón de por qué los electrones son liberados de la superficie de cinc en la figura 2 y no en la figura 4?

* * * * *

no descarga; no es; en la figura 4, los electrones que serían liberados, si la placa estuviera descargada, son retenidos en la superficie por la carga positiva que ya se encontraba en la placa.

9. La *remoción completa* de electrones en la superficie de un metal cuando éste es iluminado por ciertos tipos de radiación electromagnética recibe el nombre de *efecto fotoeléctrico.* La oscilación de electrones en una antena conforme la atraviesan las ondas de radio (es/no es) un ejemplo del efecto fotoeléctrico. El experimento descrito en el panel 3 (es/no es) un ejemplo del efecto fotoeléctrico.

* * * * *

no es; es.

10. Los electrones liberados de la superficie de un metal por la acción de algún tipo de radiación electromagnética se llaman *fotoelectrones.* En sus propiedades esenciales (masa y carga) son idénticos a los electrones ordinarios; el prefijo "foto" se emplea simplemente para indicar cómo fueron liberados de sus átomos padres.

Los electrones que se mueven en un alambre portando una corriente (son/no son) fotoelectrones. Los electrones que oscilan en una corriente alterna (son/no son) fotoelectrones. Los electrones liberados de la superficie del metal cesio cuando incide sobre él luz azul (son/no son) fotoelectrones.

* * * * *

no son; no son; son.

11. El sodio y el potasio son metales que mantienen débilmente a sus electrones de conducción. Cuando la luz visible ilumina la superficie de un trozo de sodio, son arrancados algunos de los electrones

de la superficie y quedan liberados del metal. Este fenómeno se llama el _____ y los electrones liberados se llaman _____

* * * * *

efecto fotoeléctrico; fotoelectrones.

12. Los fotoelectrones tienen (la misma masa que/una masa diferente a) la masa de un electrón ordinario. Los fotoelectrones tienen (carga nula/la misma carga que un protón/la misma carga que un electrón ordinario). Los fotoelectrones son electrones liberados de sus átomos padres por _____.

* * * * *

la misma masa que; la misma carga que un electrón ordinario; radiación (electromagnética).

13. Con referencia al panel 4, figura 1. Dos electrodos, *P* y *C* están colocados dentro de un recipiente de cuarzo. El cuarzo es transparente a la radiación visible y ultravioleta, de manera que si *P* está cubierto con una capa de metal como el sodio, el potasio, o alguna otra substancia *fotosensitiva,* la radiación de la fuente *S* (puede/no puede) alcanzar a *P* para producir fotoelectrones.

* * * * *

puede.

14. El panel 4, figura 1. Supongamos una selección conveniente de filtros la cual nos permite controlar la radiación proveniente de *S* de manera que la frecuencia de las ondas que inciden sobre *P* puede variarse monocromáticamente; es decir, para cualquier filtro dado (varias frecuencias/solamente una frecuencia) pasa a través hasta llegar a *P.*

* * * * *

solamente una frecuencia (esta suposición es ideal; de hecho, podemos aproximarnos a ella mediante filtros de manera que sólo dejen pasar a una *banda muy angosta* de frecuencias).

15. Panel 4, figura 1. La radiación de *S* puede también hacerse "más brillante" o "menos brillante" según se requiera. Cuando *S* se emplea con una serie de filtros, podemos controlar y, por tanto, variar a voluntad [(1) la frecuencia solamente/(2) la intensidad so-

lamente/(3) la frecuencia y la intensidad] de la radiación que incide sobre *P*.

* * * * *

(3).

16. Panel 4, figura 1. *C* se llama colector, debido a que bajo ciertas condiciones atrae los electrones de *P* a través del vacío entre *P* y *C*. *A* es un galvanómetro, un dispositivo empleado para medir una _____ eléctrica muy pequeña (aproximadamente 10^{-6} amp.) *P* y *C* están conectados a una fuente de FEM en *V* lo cual nos permite variar la diferencia de potencial entre estos electrodos.

Supongamos que la radiación de *S* es obstruida, de manera que no llegue a *P*. Si *C* se hace positivo con respecto a *P* y el potencial suministrado por *V* es muy grande (digamos, 20,000 volts), podemos sacar electrones de *P*. Cuando esto sucede la lectura del galvanómetro será (mayor que/igual a) cero. En este caso, los electrones de *P* (son/no son) fotoelectrones.

* * * * *

corriente; mayor que; no son (no los libera la radiación, la cual ha sido obstruida.)

17. Panel 4, figura 1. Cuando hacemos positivo a *C* con respecto a *P* y hacemos pequeña la diferencia de potencial entre *P* y *C* (por ejemplo, 10 volts), no hay indicación de una corriente eléctrica en *A* mientras se evita que la radiación de *S* ilumine a *P*. *Cuando se permite que la radiación de S incida sobre P*, la diferencia de potencial de 10 volts es suficiente para reunir los electrones; el galvanómetro indica entonces una lectura (mayor que/igual a) cero; los electrones que se reúnen en *C* (son/no son) fotoelectrones.

* * * * *

mayor que; son.

18. Panel 4, figura 1. Cuando se producen fotoelectrones de la superficie de *P* y se reúnen en *C*, hay una corriente eléctrica en el circuito, la cual se registra en *A*. A esta corriente la llamamos corriente *fotoeléctrica*. Hemos visto que incluso cuando *no* incide radiación en *P*, los electrones pueden ir de *P* a *C* si la diferencia de potencial entre estos electrodos es muy grande. Esta corriente (es/no es) una corriente fotoeléctrica. Cuando la radiación de *S* incide sobre *P*, encontramos

que una diferencia de potencial muy pequeña (C es positivo) produce un registro mayor que cero en el galvanómetro A. En este caso, la corriente (es/no es) una corriente fotoeléctrica.

* * * * *

no es; es.

19. Panel 4. Examine la figura 2 y lea el párrafo descriptivo. La curva a representa la relación de la diferencia de potencial entre P y C en la figura 1 y la _____, _____ en A. Para la curva a, la fuente S suministra ondas electromagnéticas de frecuencia constante (f_a) y la intensidad (i_a). Para la curva b, la fuente proporciona ondas electromagnéticas de frecuencia constante (f_b) y la intensidad (i_b). f_a es (mayor que/menor que/igual que) $f_b \cdot i_a$ es (mayor que/menor que/igual a) i_b.

* * * * *

corriente fotoeléctrica; igual a; mayor que.

20. Panel 4, figura 2. Los valores de V a la izquierda del origen son para diferencias de potencial en las cuales C es (positivo/negativo) con respecto a P. Examine la curva b. Cuando la diferencia de potencial entre C y P es cero, la corriente es (mayor que/menor que/igual a) cero.

* * * * *

negativo; mayor que (la curva no pasa a través del origen cuando $V = 0$; pasa arriba del origen).

21. Panel 4, figura 2. Continuemos examinando la curva b de la figura 2. Cuando la corriente fotoeléctrica es nula, la diferencia de potencial entre P y C (es/no es) cero.

* * * * *

no es (la corriente fotoeléctrica es cero cuando la curva b corta al eje horizontal; esto es, en V_s, que es un valor para el cual el potencial en C es mayor que el de P, de manera que la diferencia de potencial es *menor* que cero).

22. Panel 4, figura 2. La corriente fotoeléctrica es nula cuando la diferencia de potencial entre C y P es V_s. Esto significa que no llegan fotoelectrones a C, cuando la diferencia de potencial tiene un

valor V_s diferente de cero y C es (positivo/negativo) con respecto a P.

* * * * *

negativo.

23. Panel 4, figura 2. El hecho de que exista una corriente fotoeléctrica cuando la diferencia de potencial entre P y C es nula e incluso cuando C es ligeramente negativo (es decir, para valores de V entre 0 y V_s) indica que algunos fotoelectrones salen de P con una energía _____ (igual a/mayor que) cero.

* * * * *

cinética; mayor que.

24. Panel 4, figura 2. Cuando la diferencia de potencial entre C y P es V_s (llamado el potencial de *retardo*), C es (positivo/negativo) con respecto a P y tiende a (repeler/atraer) los fotoelectrones. Sea q la carga eléctrica de un electrón.

El trabajo hecho por un fotoelectrón contra un potencial V_s es el producto _____. Esta es también una medida de la energía cinética (máxima/mínima) de un fotoelectrón de P.

* * * * *

negativo; repelen; $V_s q$; máxima.

25. Panel 4. La gráfica de la figura 2 sugiere que por lo menos algunos fotoelectrones deben abandonar a los metales con energías cinéticas mayores que cero. También es probable que estas energías cinéticas varíen ampliamente. Un electrón liberado de una posición abajo de la superficie de su metal chocará probablemente contra los iones de la malla cristalina (u otros electrones) al salir; es probable que una vez liberado del metal tal electrón tenga una energía cinética (igual que/menor que/mayor que) un electrón liberado de una posición sobre la superficie.

* * * * *

menor que.

26. Panel 4, figura 2. El potencial V_s se llama el potencial de _____ debido a que es suficientemente grande como para

evitar que los fotoelectrones de P con la (máxima/mínima) energía cinética lleguen a C.

* * * * *

retardo; máxima.

27. Panel 4, figura 2. Podemos calcular la energía cinética máxima de un fotoelectrón en la figura 1 empleando el potencial de retardo y la carga (q) del electrón. $E_{\text{máx}} =$ ————.

* * * * *

$V_s q$.

28. Panel 4. Examinemos ahora las diferencias y las semejanzas entre las curvas a y b en la figura 2. Representan relaciones corriente-potencial debidas a la radiación electromagnética de (la misma intensidad/diferentes intensidades) y (la misma frecuencia/diferentes frecuencias).

* * * * *

diferentes intensidades; la misma frecuencia.

29. Panel 4, figura 2. La intensidad de la radiación empleada para producir el efecto fotoeléctrico representado por la curva a es (mayor que/menor que) la intensidad empleada para producir el efecto representado por la curva b. Excepto donde se encuentran, una intensidad mayor produce (una mayor/una menor/una igual) corriente fotoeléctrica.

* * * * *

mayor que; una mayor.

30. Panel 4, figura 2. Las curvas a y b describen efectos fotoeléctricos en los cuales los potenciales de retardo son (los mismos/diferentes). Esto significa que la energía cinética máxima de los fotoelectrones (depende de/es independiente de) la intensidad de la radiación que los produce.

* * * * *

los mismos (ambas curvas cortan al eje horizontal en el mismo punto) es independiente de (puesto que la energía cinética máxima se calcula a partir de V_s, y V_s es el mismo para las curvas a y b)

31. Panel 4. La figura 2 indica dos hechos interesantes sobre el efecto fotoeléctrico. Primero, un aumento en la intensidad de la radiación electromagnética tiene como resultado (un aumento/una disminución/ningún cambio) en la corriente fotoeléctrica. Segundo, un aumento en la intensidad de la radiación electromagnética tiene como resultado un (aumento/disminución/ningún cambio) en la energía cinética máxima de los fotoelectrones que produce.

* * * * *

un aumento; ningún cambio.

32. El aumento en la corriente fotoeléctrica que acompaña a un aumento en la intensidad de la radiación incidente *puede* deberse a cualquiera de las consideraciones cuya lista aparece a continuación. En vista de lo que la figura 2 en el panel 4 sugiere acerca de la relación de la corriente fotoeléctrica y la energía cinética del fotoelectrón con la intensidad de la radiación, ¿cuál explicación será probablemente la verdadera?

(1) Una mayor intensidad *no* aumenta el número de fotoelectrones producidos, pero aumenta las velocidades con las que abandonan la superficie metálica.

(2) Una mayor intensidad aumenta realmente el número de fotoelectrones producidos pero *no* afecta sus velocidades.

(3) Una mayor intensidad aumenta el número de fotoelectrones producidos, *y* también aumenta sus velocidades.

* * * * *

(2) (Como todos los electrones tienen la misma masa y la figura 2 indica que la energía cinética máxima es independiente de la intensidad, podemos concluir que la velocidad máxima también es independiente de la intensidad y que el aumento en la corriente fotoeléctrica cuando la radiación se vuelve más intensa indica *más* fotoelectrones).

33. Panel 4, figura 1. Las observaciones del efecto fotoeléctrico empleando este aparato indican que un aumento en la (frecuencia/longitud de onda/intensidad) de la radiación que incide sobre P tiene como resultado la producción de (más/menos) fotoelectrones y (un aumento/una disminución/ningún cambio) en la energía cinética máxima de los fotoelectrones producidos.

* * * * *

intensidad; más; ningún cambio.

40/dualidad onda-partícula

34. De acuerdo con la teoría clásica de la radiación electromagnética, tal radiación consiste en ondas. Esta teoría sugirió que cuanto mayor fuera la intensidad de una onda electromagnética, mayor es la oscilación en su campo eléctrico y mayor será el desplazamiento que producía en las posiciones de cualesquiera electrones que se encontraran en su paso. Vimos que esta teoría (es/no es) consistente con lo que observamos en la detección de radiación electromagnética como las ondas de radio en una antena. Aplicada al efecto fotoeléctrico, la teoría clásica de la radiación electromagnética predice que un aumento en la intensidad de las ondas electromagnéticas tendrá como resultado una mayor velocidad máxima para los fotoelectrones producidos. Esta predicción (es/no es) consistente con las observaciones experimentales representadas en la figura 2 del panel 4.

* * * * *

es; no es.

35. En la sección 1 de este capítulo, vimos que la teoría clásica de la radiación electromagnética (explica/no explica) satisfactoriamente las intensidades observadas en la radiación de la cavidad.

En esta sección hemos visto que la teoría clásica (explica/no explica) satisfactoriamente el efecto fotoeléctrico.

* * * * *

no explica; no explica.

36. La energía cinética máxima $E_{máx}$ para los fotoelectrones en la figura 1 del panel 4 está relacionada con el potencial de retardo V_s y la carga q de un electrón por la ecuación _____ = _____.

Cuando V_s se mide en volts (joule/coulombs) y q en coulombs, $E_{máx}$ está medida en _____ (unidades).

* * * * *

$E_{máx} = V_s q$; joules.

37. $E_{máx} = V_s q$. $E_{máx}$ es la _____ _____ máxima de un _____ producido en el efecto fotoeléctrico. V_s es el potencial de _____ y q es _____ (*complete*).

* * * * *

energía cinética; fotoelectrón; retardo; la carga de un electrón.

38. Panel 4, figura 1. El potencial de retardo es la diferencia de potencial entre P y C que apenas evitará que los fotoelectrones lleguen a (P/C). Es tal que C es (positivo/negativo) con relación a P.

* * * * *

C; negativo.

39. $E_{máx} = V_s q$. Si V_s se mide en volts y q en unidades de la carga elemental, $E_{máx}$ se encuentra en unidades llamadas *electrón volts.* Un electrón volt (ev) es una unidad empleada para medir (potencial/corriente/energía/carga).

* * * * *

energía.

40. Un electrón volt $= 1.6 \times 10^{-19}$ joule. El electrón volt es una unidad (menor/mayor) que el joule y algunas veces es más convenientemente empleada en física atómica que el joule.

En el panel 4, figura 2, si $V_s = 3$ volts, como la carga de un electrón es _____ (número) carga elemental, $E_{máx} =$ _____ ev.

* * * * *

menor; 1; $E_{máx} = V_s q =$ (3 volts)(1 carga elemental).

$= \mathbf{3}$ **ev.**

41. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) La teoría clásica de la radiación electromagnética es adecuada para explicar el efecto fotoeléctrico.
(2) La corriente fotoeléctrica es independiente de la intensidad de la radiación electromagnética empleada para producirla.
(3) La energía cinética máxima de un fotoelectrón es independiente de la intensidad de la radiación electromagnética empleada para producir los fotoelectrones.
(4) El potencial de retardo aumenta conforme aumenta la intensidad de la radiación incidente.
(5) El potencial de retardo es independiente de la intensidad de la radiación incidente.
(6) El potencial de retardo se mide en electrón volt.

* * * * *

(3); (5)

Sección 3. Teoría del fotón.

1. Hemos definido la intensidad de la radiación como la rapidez con que pasa la energía a través de una área unitaria en la unidad de tiempo. La frecuencia de una onda electromagnética es el número de veces que los campos eléctricos y magnéticos asociados con la onda pasan a través de un ciclo completo de valores en la unidad de tiempo.

La intensidad y la frecuencia de la radiación son (la misma cantidad física/diferentes cantidades físicas).

* * * * *

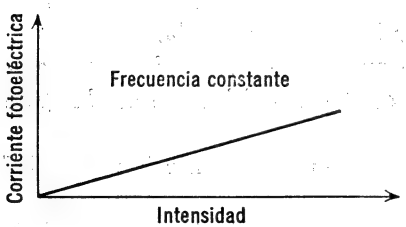
diferentes cantidas físicas.

2. En la parte visible del espectro asociamos el color de una onda brillante con su (intensidad/frecuencia) y su brillantez con su (intensidad/frecuencia).

* * * * *

frecuencia; intensidad.

3. Hemos visto que la corriente fotoeléctrica producida en el aparato empleado para estudiar el efecto fotoeléctrico depende de la intensidad de la radiación empleada para iluminar la superficie metálica que se está probando. De hecho, el experimento muestra que la corriente y la intensidad fotoeléctricas están relacionadas según se ilustra en esta gráfica.



Esta gráfica muestra que la *corriente fotoeléctrica* es (directamente/inversamente) proporcional a la intensidad suponiendo una _____ _____ constante. También muestra que (existe/no existe) un valor de "corte" para la intensidad ya que (existe/no existe) un

valor de la intensidad mayor que cero para el cual la corriente fotoeléctrica es nula.

* * * * *

directamente; frecuencia; no existe; no existe.

4. Hemos visto que la *energía cinética máxima* de los fotoelectrones producidos en el aparato de la figura 1 del panel 4 es (directamente proporcional a/inversamente proporcional a/independiente de) la intensidad de la radiación electromagnética empleada para iluminar P si su frecuencia permanece constante.

* * * * *

independiente de.

5. Examinemos ahora el efecto de los cambios en la *frecuencia* de la radiación electromagnética incidente sobre la *energía cinética* del fotoelectrón mientras se mantiene constante la intensidad. Haga referencia a la figura 1 del panel 5. La recta con trazo continuo representa la relación entre el producto $V_s q$ y la frecuencia de la radiación que incide sobre el *sodio* metálico. La corriente de fotoelectrones se anula completamente en el punto f_0, el cual recibe el nombre de *frecuencia umbral* para el sodio. La gráfica muestra que por arriba de la frecuencia umbral, el producto $V_s q$ (aumenta/disminuye/permanece constante) conforme aumenta la frecuencia. Para valores menores que la frecuencia umbral, $V_s q$ (aumenta/disminuye/es cero).

* * * * *

aumenta; es cero.

6. Panel 5, figura 1. El producto $V_s q$ es una medida de la _____ _____ de un fotoelectrón.

* * * * *

energía cinética máxima.

7. Panel 5, figura 1. (Por abajo de/por arriba de) la frecuencia umbral no existe corriente fotoeléctrica, y la energía cinética máxima de los fotoelectrones (aumenta/disminuye/es cero) conforme disminuye la frecuencia. (Por abajo de/por arriba de) la frecuencia umbral,

la energía cinética máxima de los fotoelectrones aumenta conforme la frecuencia (aumenta/disminuye).

* * * * *

por abajo de; es cero (es decir, *no* se producen fotoelectrones); por arriba de; aumenta.

8. Panel 5, figura 1. La frecuencia f_0 se llama la frecuencia _____ _____; es la frecuencia (máxima/mínima) para la cual la iluminación de este metal particular producirá fotoelectrones.

* * * * *

umbral; mínima.

9. Panel 5, figura 1. La frecuencia umbral del sodio es _____ Hz. Cuando la luz con una frecuencia de 4×10^{14} Hz ilumina al sodio, (hay/no hay) corriente fotoeléctrica. Supongamos que se emplea luz verde para iluminar al sodio; (hay/no hay) corriente fotoeléctrica.

* * * * *

4.4×10^{14}; no hay; hay (la luz verde tiene una frecuencia de aproximadamente 6×10^{14} Hz).

10. Panel 5, figura 1. Si la luz azul ilumina el sodio, (hay/no hay) corriente fotoeléctrica. Consulte la figura del cuadro 3. Si la frecuencia de la radiación empleada es suficiente para producir una corriente fotoeléctrica, (hay/no hay) una *intensidad* umbral (es decir, mayor que cero).

* * * * *

hay; no hay.

11. Panel 5, figura 1 y figura del cuadro 3 de esta sección. La radiación infrarroja (puede/no puede) producir una corriente fotoeléctrica cuando ilumina al sodio. La radiación ultravioleta (puede/no puede) producir una corriente fotoeléctrica cuando ilumina al sodio. Si la frecuencia de la radiación es mayor que el umbral para el metal que ilumina, la corriente fotoeléctrica es [(1) cero para cualquier intensidad/(2) directamente proporcional a la intensidad/(3) inversamente proporcional a la intensidad]. Si la frecuencia de la radia-

ción es menor que el umbral para el metal que ilumina, la corriente fotoeléctrica es [(1) cero para cualquier intensidad/(2) directamente proporcional a la intensidad/(3) inversamente proporcional a la intensidad].

* * * * *

no puede; puede; (2); (1).

12. Podemos resumir las relaciones cuantitativas observadas en el efecto fotoeléctrico en la forma siguiente:
(1) La energía cinética máxima de los fotoelectrones depende de la (frecuencia/intensidad/frecuencia *e* intensidad) de la radiación electromagnética que ilumina el metal.
(2) La corriente fotoeléctrica es (directamente proporcional a/inversamente proporcional a/independiente de) la intensidad de la radiación.
(3) Existe una (intensidad/frecuencia) umbral por debajo de la cual no se produce el efecto fotoeléctrico.

* * * * *

frecuencia; directamente proporcional a; frecuencia.

13. Panel 5. Consulte la figura 2. Esta es una gráfica de la relación de la máxima energía cinética de los fotoelectrones con la frecuencia de la radiación electromagnética para cinco metales diferentes.

Estas rectas son paralelas entre sí, lo cual significa que la rapidez con la que cambia la energía cinética máxima de los fotoelectrones es (la misma-diferente) para cada metal.

* * * * *

la misma.

14. Panel 5, figura 2. La frecuencia a la cual la corriente fotoeléctrica deja de existir es (la misma/diferente) para cada metal. La frecuencia umbral (depende de/es independiente de) el metal del cual los fotoelectrones son liberados.

* * * * *

diferente; depende de.

15. Panel 5, figura 2. La frecuencia umbral para el aluminio (Al)

es (igual a/mayor que/menor que) la frecuencia umbral para el sodio (Na).

* * * * *

mayor que.

16. La relación observada entre la energía cinética de los fotoelectrones y la intensidad de la radiación incidente *no* fue explicada por la teoría clásica de la radiación, que la describió como ondas electromagnéticas procedentes de una fuente y distribuidas uniformemente en el espacio. Una teoría que explica la relación observada entre los electrones y la radiación electromagnética en el efecto fotoeléctrico fue sugerida por Einstein en 1905. Supuso que la *energía* de la radiación electromagnética se propagaba a través del espacio no en la forma de ondas continuas, sino en corpúsculos compactos a los que llamó *fotones*. La energía en uno de tales corpúsculos está dada por la ecuación: $E = hf$, en donde f es la frecuencia de la radiación y h es la constante de Planck.

Un fotón (es/no es) un cuanto de energía. La energía de un fotón que está asociada con una frecuencia de 10^{14} Hz es _____ joule.

* * * * *

es

$$E = hf = (6.63 \times 10^{-34})(10^{14})$$
$$= 6.63 \times 10^{-20} \text{ joule}$$

17. De acuerdo con la teoría de Einstein del efecto fotoeléctrico, cuando una radiación electromagnética con una sola frecuencia ilumina la superficie de un metal, cada uno de sus fotones tiene (la misma/diferente) energía. La interacción resultante en el efecto fotoeléctrico es la interacción de fotones individuales con electrones individuales. La energía de cualquier fotón en el efecto fotoeléctrico es (transferida a un solo electrón/distribuida entre un número de electrones). Un aumento en la *intensidad* de la radiación electromagnética de una frecuencia determinada representa un aumento en (la energía de sus fotones/el número de fotones).

* * * * *

la misma; transferida a un solo electrón; el número de fotones.

18. Por arriba de la frecuencia umbral, un aumento en la frecuen-

cia de la radiación electromagnética tiene como resultado un aumento en la energía máxima alcanzada por los fotoelectrones. Mediante la suposición de Einstein, podemos explicar esto por el hecho de que la energía de un _____ que interactúa con un electrón del metal es directamente proporcional a la _____ de la radiación asociada con él.

La existencia de una frecuencia umbral por abajo de la cual no se producen fotoelectrones significa que existe una cantidad (máxima/mínima) de _____ necesaria para liberar un electrón del metal del cual forma parte.

* * * * *

fotón; frecuencia; mínima; energía (trabajo).

19. La energía de un fotón asociada con ondas electromagnéticas de frecuencia f está dada por el producto ____.

Si f es menor que la frecuencia umbral (f_0), entonces los fotones que inciden sobre la superficie del metal [(1) no tienen energía/(2) tienen energía suficiente para producir fotoelectrones/(3) no tienen energía suficiente para producir fotoelectrones].

* * * * *

hf; (3).

20. La frecuencia umbral en el efecto fotoeléctrico depende de [(1) la radiación empleada para iluminar el metal/(2) el metal que se está iluminando].

* * * * *

(2)

21. Siempre que f es mayor que f_0, $hf = E_{máx} + W$. Esta expresión se conoce como la *ecuación* de Einstein para el efecto *fotoeléctrico*. La *función de trabajo*, W, es la energía requerida para liberar un electrón de la *superficie* de un metal. El producto hf es la energía de un (fotón/fotoelectrón) asociada con una onda electromagnética de frecuencia f. $E_{máx}$ es la energía cinética máxima que puede tener un (fotón/fotoelectrón) cuando un metal determinado es iluminado por radiación de esta frecuencia determinada.

* * * * *

fotón; fotoelectrón.

22. $hf = E_{máx} + W$. Si la función de trabajo para un cierto metal es de 3.2×10^{-19} joule y es iluminado con una luz con una frecuencia $f = 8 \times 10^{14}$ Hz, calcule la energía cinética máxima que pueden tener los fotoelectrones producidos.

* * * * *

$hf = E_{máx} + W.$
$E_{máx} = (6.63 \times 10^{-34})\ (8 \times 10^{14}) - (3.2 \times 10^{-19})$
$= (5.3 \times 10^{-19}) - (3.2 \times 10^{-19})$
$= \mathbf{2.1 \times 10^{-19}\ joule.}$

23. La función de trabajo asociada con determinado metal es el trabajo requerido para liberar un electrón que está (debajo de/sobre) la superficie de ese metal.

La frecuencia umbral para determinado metal (depende de/es independiente de) la función de trabajo de ese metal.

* * * * *

sobre; depende de.

24. Si un fotón interactúa con un electrón que se encuentra debajo de la superficie de un metal, el trabajo necesario para liberar el electrón puede ser (mayor que/menor que) la función de trabajo del metal; si es así, la energía del fotoelectrón producido por el fotón **(es/no es) un máximo.**

* * * * *

mayor que; no es.

25. En el panel 5, figura 3, se da una tabla de las funciones de trabajo para diferentes metales. El trabajo necesario para sacar un solo electrón de la superficie de una lámina de plata es _____ ev ó _____ joule. El trabajo necesario para liberar un electrón de una posición debajo de la superficie de una lámina de paladio es (mayor que/menor que/igual a) 4.97 ev.

* * * * *

4.46

1 ev = 1.6×10^{-19} joule

4.46 ev = $\mathbf{7.14 \times 10^{-19}\ joule}$

mayor que.

26. Supongamos que una lámina de aluminio se expone a radiación ultravioleta, la cual tiene una frecuencia de 1.0×10^{15} Hz. La energía de un solo fotón asociada con esta radiación es _____ joule. La función de trabajo para el aluminio es _____ joule. Compare estos valores. ¿Se producen fotoelectrones? (Sí/No). Explique. La frecuencia umbral para el aluminio es (mayor/menor) que 1.0×10^{15} Hz.

* * * * *

$hf = (6.63 \times 10^{-34})\ (10^{15}) = 6.63 \times 10^{-19}$ joule
$W = 4.2$ ev $=$ **6.72×10^{-19} joule.**
No (la energía mínima necesaria para producir un fotoelectrón es mayor que la energía de los fotones).
mayor.

27. El experimento de Young de la doble rendija (alrededor de 1800), que examinamos en nuestro estudio de óptica y las demostraciones subsecuentes de que la radiación electromagnética presentaba efectos llamados difracción e interferencia, condujeron a la creencia general de que la energía de la radiación electromagnética es liberada en forma de un movimiento ondulatorio constante y continuo.

La explicación de Einstein sobre el efecto fotoeléctrico supone que la energía asociada con radiación electromagnética se encuentra en forma de (ondas continuas/cuantos) que reciben el nombre de _____.

El efecto fotoeléctrico (es/no es) explicado satisfactoriamente por la teoría ondulatoria de la luz debido a que predice (un aumento/una disminución/ningún cambio) en la energía cinética de los fotoelectrones conforme aumenta la intensidad de la radiación.

* * * * *

cuantos; fotones; no es; un aumento.

28. Según la teoría ondulatoria clásica de la radiación, un electrón en un metal iluminado por cierta luz, podría absorber la energía de las ondas luminosas hasta que tuviera suficiente energía para escapar del metal y convertirse en un fotoelectrón. Si esto es cierto, entonces (hay/no hay) una frecuencia umbral para el efecto fotoeléctrico. De acuerdo con la teoría del fotón, (existe/no existe) una frecuencia umbral.

* * * * *

no hay; existe.

50/dualidad onda-partícula

29. La teoría (del fotón/ondulatoria) es consistente con los hechos observados en la fotoelectricidad.

* * * * *

del fotón.

30. Planck supuso que los osciladores microscópicos en una fuente de radiación electromagnética emitían energía en forma de (ondas continuas/cuantos). Creía que la radiación misma se propagaba a través del espacio como una onda continua. La teoría del fotón de Einstein supone que la radiación electromagnética se propaga a través del espacio en la forma de (ondas continuas/cuantos).

* * * * *

cuantos; cuantos.

31. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas de acuerdo con la teoría del fotón para la radiación electromagnética?
(1) Cuando se duplica la intensidad de la radiación, se duplica el número de fotones.
(2) Cuando aumentamos la intensidad de la radiación aumentamos la energía de sus fotones individuales.
(3) Cuando aumentamos la frecuencia de la radiación, aumentamos el número de los fotones emitidos.
(4) La función de trabajo para un metal depende de la frecuencia de la radiación que lo ilumina.
(5) La frecuencia umbral que asociamos a un metal depende de la función del trabajo del metal.
(6) Existe una intensidad mayor que cero por debajo de la cual no ocurrirá el efecto fotoeléctrico.
(7) Existe una frecuencia mayor que cero abajo de la cual no ocurrirá el efecto fotoeléctrico.

* * * * *

(1); (5); (7).

32. La suposición de la existencia de fotones para explicar el efecto fotoeléctrico es una indicación de que la teoría ondulatoria de la luz (es/no es) adecuada para explicar la interacción de la radiación electromagnética con la materia.

* * * * *

no es.

33. *Repaso.* Existe gran evidencia (interferencia, difracción, etc.) para sugerir que la radiación electromagnética es un fenómeno (ondulatorio/con carácter de partícula); el efecto fotoeléctrico requiere que supongamos la existencia de otra entidad, el _____.

* * * * *

ondulatorio; fotón.

34. *Repaso.* Una radiación electromagnética con frecuencia de 1.0×10^{14} Hz se encuentra en la región infrarroja del espectro. Calcule la energía de uno de sus fotones.

* * * * *

$$E = hf = (6.63 \times 10^{-34})(1.0 \times 10^{14})$$
$$= 6.63 \times 10^{-20} \text{ joule.}$$

35. *Repaso.* La función de trabajo para un cierto metal es de 3 ev. Calcule la energía cinética máxima de los fotoelectrones producidos cuando este metal es iluminado con luz ultravioleta con una frecuencia de 1.2×10^{15} Hz.

* * * * *

$$hf = (6.63 \times 10^{-34})(1.2 \times 10^{15})$$
$$\approx 8.0 \times 10^{-19} \text{ joule}$$

$$W = 3 \text{ ev} = 3(1.6 \times 10^{-19}) = 4.8 \times 10^{-19} \text{ joule}$$
$$hf = E_{\text{máx}} + W$$
$$E_{\text{máx}} = \mathbf{3.2 \times 10^{-19} \text{ joule.}}$$

Sección 4. Efecto Compton; energía cinética y cantidad de movimiento de un fotón

1. La teoría del fotón de Einstein hace recordar una teoría anterior sobre la luz propuesta por Newton, la cual suponía que un haz luminoso estaba compuesto de (ondas/partículas).

* * * * *

partículas (es llamada a menudo teoría corpuscular, los corpúsculos son partículas pequeñas).

2. Los físicos descartaron la teoría corpuscular de la luz de Newton en favor de la teoría ondulatoria cuando encontraron que la teoría de Newton no explicaba satisfactoriamente efectos ópticos tales como la interferencia y la difracción.

El fotón de Einstein es una entidad más complicada que la partícula de Newton; por ejemplo, cuando calculamos la energía de un fotón tenemos que conocer una propiedad de la onda electromagnética asociada con él, a saber, su _____. Sin embargo, la interacción de un fotón con partículas materiales como los electrones en el efecto fotoeléctrico es mucho más característica de una (onda/partícula) que de una _____.

* * * * *

frecuencia (en el producto hf); partícula; onda.

3. Es característico de un fotón no existir salvo que se esté moviendo con una velocidad particular en un medio dado. En el vacío, un fotón (puede estar en reposo/debe estar en reposo/debe estarse moviendo con la velocidad de la luz). Un electrón (puede estar en reposo/debe estarse moviendo).

* * * * *

debe estarse moviendo con la velocidad de la luz; puede estar en reposo.

4. Describimos esta característica particular de un fotón, diciendo que tiene una *masa en reposo nula.* La masa en reposo de una partícula es su masa según la mide un observador con respecto a quien no se está moviendo. La masa en reposo de una partícula como un electrón o un protón, etc., es la masa que aparece usualmente en las tablas. ¿Es nula la masa en reposo de un electrón?

* * * * *

¡No! Es 9.1×10^{-31} kg.

5. La definición de la masa en reposo (m_0) de una partícula implica que la masa de una partícula depende de su velocidad relativa al observador que la está midiendo. Aproximadamente por la época en que Einstein estaba formulando su teoría del fotón, estaba también desarrollando la teoría especial de la relatividad en la cual demostró que la masa m de una partícula que se mueve con una velocidad v está dada por la ecuación

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

en donde c es la *velocidad* de la *luz en el vacío y* m_0 es la _____ _____ de la partícula.

Esta es llamada la ecuación de la masa relativista porque muestra que la masa m de una partícula (depende de/es independiente de) su velocidad.

* * * * *

masa en reposo; depende de.

6. $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ · Esta es llamada algunas veces la ecuación de la *masa relativista.*

m_0 representa la masa (relativista/en reposo); m representa la masa (relativista/en reposo). v representa la _____ de una partícula con relación a un observador y c es la _____ (completar).

* * * * *

reposo; relativista; velocidad; velocidad de la luz (en un vacío).

7. $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ · La mayor parte de las velocidades de los cuerpos que observamos en nuestra experiencia diaria, v es pequeña comparada con c. Ordinariamente, por tanto ,el valor de (v^2/c^2) es muy (grande/pequeño,) el valor de $\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$ es muy próximo a (cero/uno), y m es (mucho mayor que/mucho menor que/prácticamente igual a) m_0.

* * * * *

pequeño; uno; prácticamente igual a.

8. Se han empleado dispositivos como los ciclotrones y otros aceleradores de partículas para dar a las partículas subatómicas como los protones y electrones velocidades muy cercanas a la velocidad de la

luz. En tal caso, (v^2/c^2) es muy cercano a (uno/cero) la expresión $\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$ es muy próxima a (uno/cero), y m es (mucho mayor que/mucho menor que/prácticamente igual a) m_0.

* * * * *

uno; cero; mucho mayor que.

9. $m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ · Cuando estamos tratando con un fotón, el valor de m_0 es _____ . Los fotones avanzan a la velocidad de la luz, de manera que para un fotón v es (mayor que/menor que/igual a) c.

* * * * *

cero; igual a.

10. $m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ · Substituyendo, para un fotón, $m_0 = 0$ y $v = c$, $m = 0/0$, que es una expresión matemáticamente indeterminada. Por esta razón *no* empleamos m para un fotón en ecuaciones que aplicaríamos ordinariamente a las partículas. Por ejemplo, una partícula con masa m, que se mueva a una velocidad v, tiene una energía cinética debido al hecho de que se está moviendo, y calculamos esta energía por la ecuación $E = 1/2mv^2$. ¿Podemos determinar la energía cinética de un fotón con esta ecuación? (Sí/No) Explicar.

* * * * *

No. Implica la masa relativista m y ésta es indeterminada al emplear la ecuación para la masa relativista. (En la sección 5, desarrollaremos una ecuación para la masa de un fotón.)

11. Los fotones no existen salvo que se muevan a la velocidad de la luz. Por tanto, podemos pensar que toda la energía de un fotón es energía cinética. La energía de un fotón es el producto _____ ; la energía cinética de un fotón es el producto _____.

* * * * *

hf; hf.

12. La *energía* total y la *energía cinética* de un fotón (son/no son) las mismas.

* * * * *

son.

13. Una de las propiedades más importantes de una partícula es su energía cinética; (podemos/no podemos) asociar una energía cinética definida con un fotón.

* * * * *

podemos.

14. $E = hf$. Los fotones siempre viajan a la velocidad de la luz. Si la energía de un fotón es reducida por una interacción con la materia, podemos esperar que (su velocidad/la frecuencia de la radiación asociada con él) se reduzca.

* * * * *

la frecuencia de la radiación asociada con él.

15. La energía cinética de un fotón que está asociado con luz verde ($f = 6 \times 10^{14}$ Hz) es _____ joule ó _____ ev.

* * * * *

$$E = f = (6.63 \times 10^{-34})(6 \times 10^{14})$$
$$= 39.78 \times 10^{-20} \text{ joule}$$
$$= \frac{(39.78 \times 10^{-20}) \text{ joule}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ joule/ev}} = 2.5 \text{ ev}$$

16. Otra característica importante de cualquier partícula en movimiento es su cantidad de movimiento. La cantidad de movimiento $\vec{P}$ de una partícula de masa m que se mueve a una velocidad $\vec{v}$ está dada por la ecuación $\vec{P} =$ _____ en donde m es la masa (en reposo/relativista) si $\vec{v}$ es mayor que cero.

* * * * *

mv; relativista.

17. El fotón es una partícula en movimiento; (tiene/no tiene) cantidad de movimiento.

* * * * *

tiene.

18. No podemos emplear la ecuación $\vec{P} = \vec{mv}$ para calcular la cantidad de movimiento de un fotón porque *no* existe un valor determinado para la (velocidad/masa relativista) de un fotón. En su lugar, recurrimos al hecho de que un fotón está asociado con una onda cuyas características son la velocidad c, la frecuencia f y la longitud de onda λ, y definimos la cantidad de movimiento de un fotón como $P = hf/c$.

La cantidad de movimiento de un fotón asociado con una radiación de frecuencia 3×10^{14} Hz es _____ kg-metro/seg (Utilice $c = 3 \times 10^8$ m/seg).

* * * * *

masa relativista.

$$P = \frac{hf}{c} = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ joule})(3 \times 10^{14} \text{ Hz})}{3 \times 10^8 \text{ m/seg.}}$$

$$P = 6.63 \times 10^{-28} \frac{\text{joule} \cdot \text{seg.}}{\text{m}}$$

(joule = N m = kg · m²/seg²

$$\frac{\text{joule} \cdot \text{seg}}{\text{m}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{seg}^2} \cdot \frac{\text{seg}}{\text{m}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{seg}})$$

19. Para cualquier fotón asociado con una frecuencia f y una longitud de onda λ:

(1) $P = \frac{hf}{c}$

(2) Pero $c =$_____, en términos de f y λ.

(3) Substituyendo del inciso (2) el valor de c en (1), $P =$ _____ en términos de λ.

* * * * *

$f\lambda$

$$P = \frac{hf}{c} = \frac{h\cancel{f}}{\cancel{f}\lambda} = \frac{h}{\lambda}$$

20. Para cuaquier fotón asociado con una radiación de longitud de onda λ y frecuencia f, la cantidad de movimiento $P =$ ——, en términos de λ.

$P =$ _____ en términos de f.

* * * * *

$\frac{h}{\lambda}$; $\frac{hc}{f}$

21. La cantidad de movimiento de un fotón asociado con una radiación que tiene una longitud de onda igual a 3×10^{-10} metros es _____ kg-m/seg.

* * * * *

$$P = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ joule} \cdot \text{seg}}{3 \times 10^{-10} \text{ m}}$$
$$= \mathbf{2.21 \times 10^{-24}} \text{ kg} \cdot \text{m/seg}$$

22. Anteriormente hemos hecho notar que el fotón de Einstein es más complicado que la partícula newtoniana. Considerado como una partícula en movimiento, un fotón tiene _____ _____ _____ y _____. Difiere de partículas ordinarias tales como los electrones, los protones, etc., por el hecho de que su masa (en reposo/relativista) es cero.

* * * * *

energía cinética; cantidad de movimiento; en reposo.

23. Cuando empleamos la ecuación de la masa relativista de un fotón, encontramos que el valor que nos da la ecuación es (cero/intermedio). Por esta razón debemos utilizar las características (de partícula/ondulatorias) de la radiación electromagnética para calcular la energía cinética y la cantidad de movimiento de sus fotones.

* * * * *

intermedio; ondulatorias.

24. El hecho de que un fotón tenga cantidad de movimiento y energía cinética además del procedimiento que empleamos para calcularlos, señalan lo que los físicos llaman la *dualidad onda-partícula* para *toda* radiación electromagnética. En ciertas situaciones, por ejemplo, cuando presenta interferencia y difracción, la luz se comporta como si estuviera compuesta solamente de (partículas/ondas). En otras si-

tuaciones, por ejemplo, en el efecto fotoeléctrico, la luz se comporta como si estuviera compuesta de (partículas/ondas).

* * * * *

ondas; partículas.

25. La concentración de la energía de los fotones, en cuanto que interactúan como unidades con partículas como los electrones, nos conducen a tratar a los fotones como partículas. En forma diferente de otras partículas, el fotón tiene una masa _____ nula, y su energía cinética y cantidad de movimiento se calculan haciendo referencia a cantidades que caracterizan a las (ondas/partículas).

* * * * *

en reposo; ondas.

26. Describimos esta naturaleza doble de toda la radiación electromagnética como la dualidad _____.

* * * * *

onda-partícula.

27. No existe evidencia que indique que un fotón, al interactuar con un electrón para producir un fotoelectrón, sobreviva a la interacción. (Toda/alguna/ninguna) la energía cinética de un fotón implicado en la producción de un fotoelectrón es transferida al electrón durante la interacción.

* * * * *

Toda.

28. Nuestra experiencia con las partículas en general indica que esto no siempre es cierto en las interacciones de partículas. Cuando una masa choca contra otra, (ocurre/no ocurre) usualmente que una masa se detenga y transmita toda su energía cinética a la otra.

* * * * *

no ocurre (solamente una interacción sobre la recta que une los centros de masas esféricas iguales presenta este efecto).

29. Como los fotones son partículas en movimiento, cabe esperar la observación de interacciones con la materia en las cuales el fotón

continúa existiendo después de la interacción con una energía cinética y una cantidad de movimiento alteradas. Esto (ocurre/no ocurre) en el efecto fotoeléctrico.

* * * * *

no ocurre.

30. Interacciones de fotones con electrones en las cuales los fotones sobreviven con una energía cinética menor y con otra cantidad de movimiento ocurren cuando se emplean fotones correspondientes a la región del espectro de los rayos X. Consulte la figura 2 del panel 1. Los fotones de los rayos X estan asociados con radiaciones que tienen frecuencias (mayores que/menores que/iguales a) las que caracterizan a la luz visible.

* * * * *

mayores que.

31. Los fotones de los rayos X tienen energías cinéticas que son (mayores que/menores que/iguales a) las energías cinéticas de los fotones de la luz visible o de la ultravioleta. Un fotón asociado con una radiación electromagnética con una frecuencia de (10^{11}/10^{15}/10^{19}/10^{25}) Hz es un fotón de rayos X.

* * * * *

mayores que; 10^{19}.

32. En 1922, A. H. Compton analizó los resultados obtenidos al bombardear con rayos X un blanco conveniente. Las figuras (*a*) y (*b*) del panel 6 representan un dibujo muy simplificado de lo que los físicos llaman ahora *dispersión Compton*. "La dispersión" se refiere al hecho de que el fotón de los rayos X transfiere parte de su energía al electrón con el que interactúa y es detectado, después de la interacción, moviéndose en una dirección diferente con (la misma/menor/superior) frecuencia. Los fotones que producen fotoelectrones (sufren/no sufren) la dispersión Compton.

* * * * *

menor; no sufren.

33. Antes de su colisión con el electrón, el fotón de los rayos X tiene una frecuencia f_1. Su energía cinética antes de la colisión es

_____, en términos de f_1, y su cantidad de movimiento es_____, en términos de f_1. Si el electrón y el fotón en (*a*) constituyen un sistema aislado, la cantidad de movimiento *total* del sistema después de la interacción es_____ (*en términos de* f_1).

* * * * *

hf_1

$\overrightarrow{\left(\frac{hc}{f_1}\right)}$ (La flecha indica que la cantidad de movimiento es un vector).

$\overrightarrow{\left(\frac{hc}{f_1}\right)}$

34. Panel 6. Después de la colisión, el fotón de los rayos X tiene una frecuencia f_2, y el electrón está (en reposo/en movimiento). (Toda/alguna/ninguna) parte de la energía cinética del fotón de los rayos X ha sido transferida al electrón durante la colisión.

* * * * *

en movimiento; alguna.

35. Panel 6. f_2 es (mayor que/menor que/igual a) f_1. Después de la colisión, el fotón (se está/no se está) moviendo en la misma dirección que antes de la colisión, y su energía cinética es (menor que/mayor que/igual a) su energía cinética anterior. A este efecto que describimos, lo llamamos _____ Compton.

* * * * *

menor que; no se está; menor que; dispersión.

36. Panel 6. La cantidad de movimiento del fotón después de la colisión es_____, en términos de f_2. Sea m la masa del electrón y $\vec{v}$ su velocidad después de la colisión. La cantidad de movimiento del electrón después de la colisión es_____. (Tengamos presente que la cantidad de movimiento es un *vector*).

* * * * *

$\overrightarrow{\left(\frac{hc}{f_2}\right)}$

$m\vec{v}$

37. Panel 6. Cuando dos o más partículas constituyen un sistema aislado e interactúan entre sí, (la cantidad de movimiento/la energía cinética) total del sistema debe conservarse. En este experimento en concreto se observa que

$$\left(\frac{hc}{f_1}\right)\rightarrow = \left(\frac{hc}{f_2}\right)\rightarrow + m\vec{v}.$$

La dispersión Compton proporciona evidencia adicional para la teoría (del fotón/ondulatoria) de la radiación electromagnética. Explique.

* * * * *

cantidad de movimiento; fotón.

El hecho de que la cantidad de movimiento total del sistema se conserve, lo cual incluye al fotón de los rayos X, indica que los fotones tienen características de partícula.

38. Cuando la radiación electromagnética presenta efectos tales como la interferencia y la difracción, le aplicamos la teoría (del fotón/ondulatoria). Cuando presenta efectos tales como la dispersión Compton y el efecto fotoeléctrico, le aplicamos la teoría (del fotón/ondulatoria). Este empleo selectivo de las teorías para explicar los diferentes efectos de la radiación electromagnética se llama la_____ onda-partícula.

* * * * *

ondulatoria; del fotón; dualidad.

39. *Repaso.*

$m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$ · Esta es la ecuación para la masa relativista de una partícula cuya masa en reposo es (m/m_0) y cuya velocidad es (v/c). Proporciona un valor determinado solamente cuando v es (igual a/menor que) la velocidad de la luz en el vacío.

* * * * *

m_0; menor que.

40. *Repaso.* No podemos emplear la ecuación de la masa relativista para un fotón porque la masa en reposo de un fotón es_____

y la velocidad de un fotón es (menor que/igual a/mayor que) la velocidad de la luz en el vacío.

* * * * *

cero; igual a.

41. *Repaso.* Para calcular una propiedad de un fotón, lo cual implica usualmente la masa relativista de una partícula (tal como su energía cinética y cantidad de movimiento) empleamos la _____ _____ ó _____, de la radiación electromagnética asociada con él.

* * * * *

En cualquier orden: frecuencia; longitud de onda.

42. *Repaso.* Calcule la energía cinética de un fotón asociado con una radiación que tiene una longitud de onda de 9×10^{-8} m.

* * * * *

$$E_k = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.63 \times 10^{-34})(3 \times 10^{8})}{9 \times 10^{-8}}$$

$E_k = 2.21 \times 10^{-18}$ joule

43. *Repaso.* Calcule la cantidad de movimiento de un fotón de rayos X que tiene una longitud de onda de 2×10^{-10} m.

* * * * *

$$P = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ joules} \cdot \text{seg.}}{2 \times 10^{-10} \text{ m}}$$

$$= 3.32 \times 10^{-24} \text{ kg} \cdot \text{m/seg.}$$

44. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) La masa relativista de un fotón es nula.
(2) La masa en reposo de un elcetrón es cero.
(3) El fotón desviado en el experimento de la dispersión de Compton tiene una velocidad menor que el fotón incidente.
(4) En la dispersión de Compton el fotón dispersado tiene una frecuencia menor que el fotón incidente.
(5) En la dispersión de Compton, el fotón dispersado tiene una longitud de onda más corta que el fotón incidente.
(6) En la dispersión de Compton, el fotón dispersado tiene una frecuencia mayor que la del fotón incidente.
(7) Los fotones que producen fotoelectrones son dispersados.

(8) Los fotones de los rayos X tienen una energía cinética mayor que los fotones correspondientes a la luz ultravioleta.
(9) La teoría ondulatoria de la radiación es adecuada para explicar la dispersión de Compton.

* * * * *

(4); (8).

45. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) En la dispersión Compton, toda la energía cinética del fotón de rayos X es transferida al electrón.
(2) En la dispersión Compton, se conserva la cantidad de movimiento total del sistema formado por los rayos X y el electrón.
(3) La masa relativista de cualquier partícula que se mueve con una velocidad mayor que cero es mayor que su masa en reposo.
(4) Conforme aumenta la longitud de onda asociada a un fotón, aumenta su cantidad de movimiento.
(5) Cuanto mayor sea la frecuencia de un fotón, mayor será su cantidad de movimiento.
(6) El fotón es simplemente otro nombre para una partícula de luz newtoniana.
(7) La teoría del fotón fue sugerida primero por A. H. Compton.
(8) Un fotón es un cuanto de energía de una radiación electromagnética.

* * * * *

(2); (3); (5); (8).

Sección 5. Ondas asociadas a la materia

1. En la sección 4, vimos que la masa en reposo de un fotón es (cero/indeterminada) y qeu su masa relativista calculada por substituciones en la ecuación

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$ es (cero/indeterminada)

* * * * *

cero; indeterminada.

2. El hecho de que la masa relativista de un fotón sea indeterminada matemáticamente cuando tratamos de calcularla con la expresión

$$\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

no significa que no podamos calcular una masa equivalente a la energía de un fotón. Hasta ahora no hemos necesitado hacer tal cálculo, ya que podemos emplear expresiones para la energía cinética y la cantidad de movimiento de un fotón, las cuales no requieren su masa relativista. Sin embargo, es posible encontrar una expresión para la masa equivalente de un fotón.

En la teoría especial de la relatividad se demuestra que la *equivalencia entre la masa y la energía* está expresada por la ecuación $E = mc^2$. Esta ecuación nos permite calcular la energía equivalente de cualquier masa, ya sea masa en reposo o masa relativista. c, como siempre, representa la velocidad de la luz en el vacío, o sea, 3×10^8 m/seg.

Calcule la energía equivalente de la masa en reposo de un electrón ($m_0 = 9.1 \times 10^{-31}$ kg).

* * * * *

$$\begin{aligned} E &= mc^2 \\ &= (9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}) \ (3 \times 10^8 \text{ m/seg})^2 \\ &= (9.1 \times 10^{-31}) \ (9 \times 10^{16}) \\ &= \mathbf{8.19 \times 10^{-15} \text{ joule}} \end{aligned}$$

3. Calcule la masa equivalente para una energía de 9×10^6 joules.

* * * * *

$$E = mc^2$$

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{9 \times 10^6 \text{ joules}}{9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{seg}^2}$$

$$= 10^{-10} \text{ kg}$$

4. Representamos la masa equivalente de un fotón por m_f. La energía equivalente de m_f es $E =$ _____. La energía de este mismo fotón en términos de su frecuencia f es $E =$ _____.

* * * * *

$m_f c^2$; hf.

5. Para cualquier fotón con masa equivalente m_f y frecuencia f,
(1) $E = m_f c^2$

(2) $E = hf$

(3) $m_f =$ _____ en términos de f.

* * * * *

Como $m_f c^2 = hf$, $m_f = \dfrac{hf}{c^2}$

6. (1) $m_f = \dfrac{hf}{c^2}$

(2) $f = \dfrac{c}{\lambda}$

(3) Substituyendo c/λ por f en (1) obtenemos $m_f =$ _____, en donde m_f representa la _____ de un fotón.

* * * * *

$m_f = \dfrac{hf}{c^2} = \dfrac{hc}{c^2\lambda} = \dfrac{h}{c\lambda}$; masa equivalente

7. La masa equivalente de un fotón puede calcularse si empleamos la expresión _____ ó _____.

* * * * *

$\dfrac{hf}{c^2}$ ó $\dfrac{h}{c\lambda}$

8. La masa en reposo de un fotón que tiene asociada una longitud de onda de 4×10^{-7} m (en la región de la luz ultravioleta del espectro) es _____ kg. La masa equivalente de este fotón es _____ _____ kg.

* * * * *

cero

$$m_f = \frac{h}{c\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ joule} \cdot \text{seg}}{(3 \times 10^8 \text{ m/seg})\ (4 \times 10^{-7} \text{ m})}$$

$\approx 5.5 \times 10^{-36}$ kg (compare ésta con la masa en *reposo* de un electrón, que es 9.1×10^{-31} kg).

9. La dualidad onda-partícula que tuvimos que asociar a la luz y a otros tipos de radiación electromagnética no fue aceptada sin objeciones por los científicos. Para algunos parecía que la radiación debía consistir en ondas o en partículas, pero no ambas.

Sin embargo, a pesar de los problemas filosóficos, los científicos se vieron ante los fenómenos de la interferencia y la difracción por un lado y el efecto fotoeléctrico y la dispersión de Compton por el

otro; las explicaciones adecuadas de estos fenómenos implicaban la dualidad onda-partícula con respecto a la radiación.

En 1923, Luis De Broglie estableció una de las hipótesis más notables en la historia de la ciencia. No parecía razonable a de Broglie que el fotón, entre todos los tipos de partículas del universo, fuera el único asociado con ondas. Así pues, sugirió que todas las partículas (el electrón, los protones, los átomos, las pelotas de béisbol, los aviones, los planetas, etc.) tienen características ondulatorias asociadas a ellos.

De acuerdo con la hipótesis de De Broglie, además de su masa, energía y cantidad de movimiento, debemos poder medir la _____ _____, y la _____ de la _____ asociada con cualquier partícula material.

* * * * *

En cualquier orden: longitud de onda, frecuencia; onda.

10. La hipótesis de que la radiación se comportaba en ciertas interacciones como si consistiera de partículas fue establecida primero por (De Broglie/Einstein). La hipótesis de que todas las partículas están asociadas con ondas fue establecida primero por (De Broglie/Einstein).

* * * * *

Einstein; De Broglie.

11. Recordemos que Huygens estableció la hipótesis de que la luz consistía en ondas en la época en que Newton estaba formulando su teoría corpuscular de la luz. Una razón de por qué no se aceptó entonces la hipótesis ondulatoria fue que Huygens no pudo sugerir un método práctico para medir o calcular la longitud de onda (o la frecuencia) de las ondas luminosas. Cuando Young calculó la longitud de onda de la luz, pudo explicar por qué la difracción y la interferencia no se observaban en la experiencia diaria, y la teoría ondulatoria de la luz no tardó en ser aceptada por los físicos.

La hipótesis de De Broglie no sería más que una especulación imaginativa si no hubiera sugerido un método para calcular la longitud de onda (y la frecuencia) de las ondas asociadas a las partículas *materiales*. En analogía con el fotón, esto se lleva a cabo en la siguiente forma.

Si m es la masa equivalente de un fotón, $m = h/c\lambda$. Resolviendo esta ecuación para λ, obtenemos $\lambda =$ _____. Como c representa la

velocidad de un fotón, el producto mc representa la _____ de un fotón.

* * * * *

h/mc; cantidad de movimiento.

12. $\lambda = h/(mc)$. Esta es una ecuación para la_____ de un fotón. Si llamamos P a la cantidad de movimiento de un fotón, esta ecuación se convierte en $\lambda =$ _____.

* * * * *

longitud de onda; h/P.

13. De Broglie sugirió que la ecuación $\lambda = h/P$ podía emplearse para determinar la longitud de onda de la onda asociada con *cualquier* partícula material. Si m es la masa relativista de un electrón con una velocidad v, entonces $P =$ _____, y $\lambda =$ _____, en términos de m y v.

* * * * *

mv; $\lambda = \dfrac{h}{P} = \dfrac{h}{mv}$

14. $\lambda = h/mv$, en donde v es una velocidad menor que la velocidad de la luz en el vacío, es una ecuación para la longitud de onda de (una onda asociada a la materia/la onda electromagnética asociada con un fotón).

* * * * *

una onda asociada a la materia.

15. Una partícula con una masa relativista de 1.0×10^{-30} kg se mueve a una velocidad de 5.0×10^{6} m/seg. Calcule la longitud de onda de la onda asociada con ella.

* * * * *

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ joule} \cdot \text{seg}}{(1.0 \times 10^{-30} \text{ kg})\ (5.0 \times 10^{6} \text{ m/seg})}$$

$= 1.3 \times 10^{-10}$ m. (Esta es aproximadamente la longitud de onda que asociaríamos con un electrón que se mueva a esta velocidad.)

16. Un avión tiene una masa de aproximadamente 10^5 kg y vuela con una velocidad de 200 m/seg. Calcule la longitud de onda de la onda asociada con él.

* * * * *

$\lambda = \dfrac{h}{mv} = \dfrac{6.63 \times 10^{-34}}{(10^5)(200)} = 3.3 \times 10^{-27}$ m. (Es imposible medir esta longitud de onda con los dispositivos conocidos. La naturaleza ondulatoria de la materia es observable prácticamente sólo en la escala atómica o subatómica.)

17. Ahora que tenemos una forma de calcular la longitud de onda de la onda asociada a una partícula material, podemos considerar métodos para demostrar experimentalmente que tal onda existe.

En su estudio de óptica, aprendió que la ocurrencia de _____ y _____ era muy buena evidencia de que existen las ondas.

* * * * *

En cualquier orden: difracción, interferencia.

18. En los cuadros 15 y 16 se calcularon las longitudes de onda de las ondas asociadas con un electrón y un avión, respectivamente. La longitud de onda de la onda asociada con el electrón fue aproximadamente de 10^{-10} m; la longitud de onda de la onda asociada con el avión fue aproximadamente de 10^{-27} m. (Es más/es menos) probable observar la difracción de las ondas asociadas con los electrones que la de las ondas asociadas con el avión.

* * * * *

Es más.

19. (Es más/es menos) probable observar los efectos de interferencia de las ondas para partículas atómicas y subatómicas que para pelotas de béisbol.

* * * * *

Es más.

20. Consulte el panel 7. En la figura (*a*) se dirige un haz de electrones desde un dispositivo, *S*, e incide sobre una placa fotográfica. *En los lugares en donde un electrón incide sobre la placa, ésta se obscurece* En la figura (*b*) se coloca un delgado alambre de metal en la trayectoria del haz de electrones. (Hay/no hay) una "sombra" del alambre

sobre la pantalla. En las figuras (*a*) y (*b*) (hay/no hay) evidencia de la interferencia de la onda asociada a la materia.

* * * * *

Hay; no hay.

21. Panel 7. En la figura (*c*) el alambre de metal colocado en la trayectoria de los electrones se le da una carga (negativa/positiva). La carga del alambre desvía las trayectorias de los electrones en ambos lados del mismo, de manera que ellos (se alejan más/se intersecan).

* * * * *

positiva; se intersecan.

22. Panel 7. En la figura (*c*) en donde las trayectorias de los electrones de la misma fuente se intersecan y puede ocurrir la interferencia de las ondas asociadas a la materia, el patrón resultante sobre la película es [(1) una sola sombra debida al alambre/(2) varias franjas iluminadas y obscuras].

* * * * *

(2)

23. Panel 7, figura (*c*). En el patrón de las franjas iluminadas y obscuras, formado en la película, las franjas obscuras, que son lugares donde la película ha estado expuesta a los electrones, son el resultado de (interferencia constructiva/interferencia destructiva/difracción) de las ondas asociadas a los electrones. Las franjas iluminadas son partes no expuestas de la película y son el resultado de (interferencia constructiva/interferencia destructiva/difracción) de las ondas asociadas a los electrones.

* * * * *

interferencia constructiva; interferencia destructiva.

24. Panel 8. El experimento ilustrado aquí fue llevado a cabo por *Möllenstedt*. Los patrones de interferencia producidos en la figura (*c*) pueden explicarse solamente si asociamos _____ _____ con los electrones del haz.

* * * * *

ondas.

25. El experimento de Möllenstedt demuestra que el haz de electrones sufre (difracción/interferencia) y por tanto (es/no es) evidencia de la naturaleza ondulatoria de los electrones.

* * * * *

interferencia; es.

26. El espaciamiento entre las rendijas de una rejilla de difracción empleada para difractar la luz visible es demasiado grande para demostrar la difracción de una radiación como los rayos X. Las longitudes de onda de los rayos X son aproximadamente 10^{-10} m, y se ha encontrado que el espaciamiento de los átomos en los cristales proporciona una rejilla natural de difracción de tres dimensiones para los rayos X.

La longitud de onda predicha para las ondas asociadas con electrones moviéndose con una velocidad de 10^6 m/seg es aproximadamente 10^{-10} m. Los cristales que difractan los rayos X (difractarán/no difractarán) a las ondas asociadas con tales electrones. Una rejilla de difracción empleada para la radiación visible (difractará/no difractará) estas ondas.

* * * * *

difractará; no difractará.

27. En los últimos treinta años muchos experimentos han demostrado que los haces de partículas atómicas y subatómicas, cargadas o no (electrones, protones, neutrones y átomos de hidrógeno y helio), sufren la difracción y la interferencia constructiva y destructiva bajo condiciones convenientes. No existe evidencia que sugiera que la hipótesis de De Broglie no se verificaría si pudiéramos encontrar condiciones adecuadas para observar las ondas asociadas con pelotas de béisbol, balas, aviones, caracoles y profesores de física. La dualidad onda-partícula se aplica a (solamente a fotones/solamente a fotones y electrones/solamente a partículas subatómicas/cualquier objeto material).

* * * * *

cualquier objeto material.

28. *Podemos describir los fenómenos físicos en términos de partículas o en términos de ondas; en donde un enfoque fracasa, el otro tiene éxito.* La producción de franjas de interferencia la explicamos en

términos de (ondas/partículas) y el efecto fotoeléctrico en términos de (ondas/partículas).

Niels Bohr estableció lo anterior como una ley llamada *El Principio de Complementaridad.*

La dispersión de Compton no puede explicarse en términos de la teoría ondulatoria de los rayos X; (puede/no puede) explicarse en términos de la teoría corpuscular (fotón). ¿Es esto un ejemplo del Principio de Complementaridad?

* * * * *

ondas, partículas; puede; sí.

29. En el experimento de Möllenstedt [panel 7, figura (*c*)] el patrón formado sobre la película no puede explicarse en términos de las características corpusculares de los electrones; sin embargo, es explicado satisfactoriamente en términos de ondas que podemos asociar a los electrones.

Este es un ejemplo del principio de _____ de Bohr.

* * * * *

Complementaridad.

30. La dualidad onda-partícula y el principio de complementaridad implican dos conjuntos posibles de características físicas, la energía E y la cantidad de movimiento P por un lado y la longitud de onda λ y la frecuencia f por el otro, con los cuales podemos describir los fenómenos físicos. (Hay/no hay) ecuaciones que relacionen uno de estos conjuntos (E y P) con el otro (λ y f); las cantidades empleadas para describir las partículas (son/no son) completamente independientes de las empleadas para describir las ondas asociadas.

* * * * *

Hay; no son.

31. Dada una partícula con una masa relativista m, velocidad v y cantidad de movimiento P. La longitud de onda de su onda asociada es λ = _____ en términos de P, o λ = _____ en términos de m y v.

Dado un fotón asociado con una onda electromagnética de frecuencia f y longitud de onda λ. La energía cinética del fotón es E = _____. La cantidad de movimiento del fotón es P = _____.

* * * * *

$\frac{h}{P}$; $\frac{h}{mv}$; hf ó $\frac{hc}{\lambda}$; $\frac{hf}{c}$ ó $\frac{h}{\lambda}$

Sección 6. Repaso y Problemas

En esta sección de repaso puede usted consultar la cubierta de respuestas o la lista dada a continuación de las constantes y las ecuaciones, conforme sean necesarias. Los renglones marcados con un asterisco (*) deben memorizarse.

Constantes: $*h = 6.63 \times 10^{-34}$ joule · seg

$*c = 3 \times 10^{8}$ m/seg

Ecuaciones: $*E = hf = \dfrac{hc}{\lambda}$ (cuanto de energía)

$*hf = E_{\text{máx}} + W$ (ecuación del efecto fotoeléctrico)

$*E = mc^2$ (equivalencia masa-energía)

$$*m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} \quad \text{(masa relativista)}$$

$$P = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad \text{(cantidad de movimiento de un fotón)}$$

$$m_f = \frac{h}{c^2} = \frac{h}{c\lambda} \quad \text{(masa equivalente de un fotón)}$$

$$*\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv} \quad \text{(longitud de onda de De Broglie para la onda asociada)}$$

1. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) Una cavidad radiante refleja toda la radiación que incide sobre ella.

(2) La intensidad de la radiación de la cavidad depende de la substancia donde se hizo la cavidad.

(3) La intensidad de radiación de una cavidad radiante es independiente de la temperatura.

(4) La frecuencia de la radiación de una cavidad radiante que tiene una intensidad máxima aumenta conforme aumenta la temperatura de la cavidad.

(5) De acuerdo con Planck, el oscilador en las paredes de una cavidad radiante emite energía en forma continua.

(6) Un oscilador de la cavidad que vibra con una frecuencia de 10^{10} Hz tiene un cuanto de energía igual a 6.63×10^{-24} joule.

(7) El valor de 2.21×10^{-24} joule es un estado de energía permitido para el oscilador descrito en (6).

(8) Los osciladores de la cavidad absorben la energía radiante en forma de cuantos.

* * * * *

(4); (6); (8)

2. Un oscilador de la cavidad vibra con una frecuencia de 1.0×10^{15} Hz y existe en un estado que tiene el número cuántico 3. Para este oscilador particular un cuanto de energía es _____ joule. En su estado con un número cuántico 3, su energía es _____ _____ joule. En este estado emite _____ joule de energía y absorbe _____ joule de energía. Cuando cambia de un estado con un número cuántico 3, a un estado con un número cuántico 1, (emite/absorbe) _____ joule. Cuando cambia del número cuántico 1 al número cuántico 2, (emite/absorbe) _____ joule.

* * * * *

$hf = (6.63 \times 10^{-34})\ (1.0 \times 10^{15}) =$ **6.63×10^{19} joule**
$E = nhf = 3 \times 6.33 \times 10^{-19} =$ **19.89×10^{-19} joule**
cero; cero; emite
$\Delta E = (3 - 1)\ (6.63 \times 10^{-19}) = 13.26 \times 10^{-19}$ joule, absorbe
$\Delta E = (1 - 2)\ (6.63 \times 10^{-19}) = -6.63 \times 10^{-19}$ joule
6.63×10^{-19} joule, absorbe

3. La teoría de Planck para la cavidad radiante se basa en dos hipótesis. Escójalas entre las proposiciones dadas a continuación:
(1) Cualquier partícula material está asociada con una onda.
(2) La velocidad de la luz es constante.
(3) La energía equivalente de una masa m es mc^2.
(4) Los osciladores que producen la radiación de la cavidad emiten la radiación en todos sus estados de energía.
(5) Los estados de energía de los osciladores en las cavidades radiantes están cuantizados.
(6) Un oscilador en una cavidad radiante emite radiación mientras continúe vibrando.
(7) Un oscilador en una cavidad emite radiación sólo cuando cambia de un estado de energía a otro que tiene un número cuántico mayor.
(8) Los fotones de los rayos X son dispersados en las colisiones con electrones.
(9) Un oscilador en una cavidad radiante emite radiación solamente

cuando pasa de un estado de energía a otro que tiene un número cuántico menor.
(10) La carga eléctrica está cuantizada.

* * * * *

(5); (9).

4. ¿Cuál de las siguientes proposiciones es verdadera?
(1) h es un número cuántico.
(2) El principio de complementaridad establece que ninguna partícula puede moverse con la velocidad de la luz en el vacío.
(3) Se hace una cavidad en la superficie de un cilindro hueco de platino. Cuando el cilindro se encuentra a temperatura ambiente, la parte más obscura del cilindro es la cavidad.

* * * * *

(3)

5. En un experimento que implica el efecto fotoeléctrico, el potencial de retardo que se observa es de 20 volts. Calcule la energía cinética máxima de los fotoelectrones producidos, en electrón volts y en joules.

* * * * *

$$E_{\text{máx}} = V_s q = (20 \text{ volts})\ (1 \text{ carga elemental})$$
$$= \mathbf{20\ ev} = 20 \times 1.6 \times 10^{-19}$$
$$= \mathbf{32 \times 10^{-19}\ joule}$$

6. Si la función de trabajo del metal empleado en el cuadro anterior es 5.0 ev, calcule la energía de los fotones empleada en el experimento, en electrón volts.

* * * * *

$$hf = E_{\text{máx}} + W$$
$$hf = 20 \text{ ev} + 5 \text{ ev} = 25 \text{ ev}$$

7. Si el fotón asociado con un cierto tipo de radiación electromagnética tiene una energía de 2.21×10^{-18} joule, calcule la frecuencia de la radiación. Consulte la figura 2 del panel 1 e indique qué tipo de radiación electromagnética tiene esta frecuencia.

* * * * *

$E = hf$

2.21×10^{-18} joule $= (6.63 \times 10^{-34}$ joule $\cdot$ seg$)f$

$$f = \frac{2.21 \times 10^{-18}}{6.63 \times 10^{-34}} = 0.3 \times 10^{16}$$

$f = 3 \times 10^{15}$ cps

ultravioleta

8. Consulte el panel 5, figura 3. Calcule la energía cinética máxima de los fotoelectrones que salen de una superficie de paladio cuando es iluminada por una radiación que tiene una frecuencia de 4×10^{16} Hz.

* * * * *

$hf = E_{máx} + W$

$W = 4.97$ ev $= 4.97\ (1.6 \times 10^{-19})$ joule

$\approx 7.95 \times 10^{-19}$ joule

$(6.63 \times 10^{-34})(4 \times 10^{16}) = E_{máx} + (7.95 \times 10^{-19})$

$E_{máx} = (26.52 \times 10^{-18}) - (0.795 \times 10^{-18})$

$E_{máx} \approx 2.6 \times 10^{-17}$ joule

9. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) La luz ultravioleta saca portadores de carga positiva de la superficie de un trozo de cinc.

(2) Los fotoelectrones no tienen carga eléctrica.

(3) Cuando el sodio y la plata son iluminados con fotones con una energía de 3 ev, se producen fotoelectrones en el sodio mas no en la plata.

(4) La energía cinética del fotoelectrón es independiente del metal empleado para producir fotoelectrones.

(5) Cuanto mayor sea la intensidad de la radiación empleada para producir fotoelectrones, mayor será la energía cinética máxima de los electrones producidos para una frecuencia dada.

(6) La corriente fotoeléctrica es directamente proporcional a la intensidad de radiación para una frecuencia constante mayor que la frecuencia umbral para un metal dado.

(7) Un aumento en la intensidad de la radiación electromagnética es un aumento en el número de fotones que lleva para una frecuencia dada.

* * * * *

(3); (6); (7)

10. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) El potencial de retardo determinado para el efecto fotoeléctrico es independiente de la frecuencia de la radiación incidente.
(2) El potencial de retardo determinado para el efecto fotoeléctrico es independiente de la intensidad de la radiación incidente.
(3) Un aumento en la intensidad de la radiación a una frecuencia dada aumenta la corriente fotoeléctrica porque produce más fotoelectrones los cuales se mueven más rápidamente que los producidos a una intensidad menor.
(4) La frecuencia umbral para la radiación electromagnética empleada para producir el efecto fotoeléctrico es la misma para todos los metales.
(5) La frecuencia umbral es la frecuencia máxima de radiación la cual producirá un fotoelectrón a partir de un metal dado.
(6) La frecuencia mínima de la radiación electromagnética que producirá fotoelectrones de un metal dado se llama la frecuencia umbral para ese metal.

* * * * *

(2); (6)

11. 1 (ev/joule) $= 1.6 \times 10^{-19}$ (ev/joule).

* * * * *

ev; joule.

12. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) El electrón volt es una unidad empleada para medir la intensidad.
(2) Suponiendo una intensidad constante, la frecuencia de radiación es proporcional al número de fotoelectrones producidos.
(3) La teoría clásica de las ondas electromagnéticas es adecuada para explicar el efecto fotoeléctrico.
(4) La teoría clásica de la radiación electromagnética predice que la energía cinética máxima de los electrones producidos en el efecto fotoeléctrico es independiente de la radiación empleada.
(5) La ecuación que relaciona la energía de un fotón con la función de trabajo de un metal y la energía cinética máxima de un electrón producido por el fotón fue establecida por primera vez por Einstein.

* * * * *

(5)

13. La luz azul tiene una frecuencia de 7×10^{14} Hz. Calcule (1) la energía cinética; (2) la cantidad de movimiento, y (3) la masa equivalente de uno de sus fotones.

* * * * *

(1) $E = hf = (6.63 \times 10^{-34})(7 \times 10^{14})$
$= \mathbf{46.41 \times 10^{-20}}$ **joule**

(2) $P = \dfrac{hf}{c} = \dfrac{(6.63 \times 10^{-34})(7 \times 10^{14})}{3 \times 10^{8}}$
$\approx \mathbf{15.5 \times 10^{-28}}$ kg . m/seg

(3) $m_f = \dfrac{hf}{c^2} = \dfrac{(6.63 \times 10^{-34})(7 \times 10^{14})}{9 \times 10^{16}}$
$\approx \mathbf{5.2 \times 10^{-36}}$ kg

14. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) Las rejillas de difracción ordinarias hechas por el hombre tienen rendijas suficientemente angostas para producir efectos observables de difracción con las ondas asociadas con la materia.
(2) Solamente las partículas cargadas tienen ondas asociadas.
(3) Conforme aumenta la velocidad de una partícula, también aumenta la longitud de onda de su onda asociada.
(4) Todas las partículas materiales tienen ondas asociadas.

* * * * *

(4)

15. Cierta partícula tiene una masa de 2.00×10^{-27} kg cuando se está moviendo con una velocidad de 5.00×10^{6} m/seg. Calcule la longitud de onda de la onda asociada.

* * * * *

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{(2.00 \times 10^{-27})(5.00 \times 10^{6})}$$
$$= 6.63 \times 10^{-14} \text{ m}$$

PROBLEMAS

1. Describa en qué forma difieren las suposiciones de Planck sobre la cavidad radiante con respecto a la teoría clásica.

2. Suponga que un oscilador de Planck vibra con una frecuencia

de 10^{18} Hz. Calcule su cuanto de energía. Calcule su energía en un estado permitido con un número cuántico 4. Calcule la energía que debe absorber para pasar a un nivel de energía permitido con un número cuántico 6. Calcule la energía que emite cuando pasa de un estado con un número cuántico 4 a otro con un número cuántico 1.

3. Discuta las características de una cavidad que la constituyan en un radiador de cuerpo negro.

4. Ordene las siguientes regiones del espectro electromagnético en orden de longitud de onda creciente: ultravioleta, infrarrojo, visible, de radio, rayos X y rayos gamma. Ordene en frecuencia decreciente.

5. Describa el efecto fotoeléctrico en términos de (*a*) la relación de la intensidad de radiación con la corriente fotoeléctrica y la energía cinética de los fotoelectrones y (*b*) la relación de la frecuencia de radiación con la corriente fotoeléctrica y la energía cinética de los fotoelectrones que produce.

6. Calcule la energía en joules y en electrón volts, de un fotón asociado con radiación que tiene una frecuencia de 6×10^{14} Hz.

7. Calcule la frecuencia de un fotón de 5 ev.

8. La función de trabajo de un cierto metal es 2 ev. Calcule la energía cinética máxima de los fotoelectrones producidos cuando una luz monocromática con una frecuencia de 4×10^{14} Hz ilumina una muestra de este metal.

9. Luz con una longitud de onda de 5×10^{-7} m incide sobre una superficie metálica y libera fotoelectrones con una velocidad máxima de 1.5×10^{5} m/seg. (*a*) Calcule la función de trabajo para el metal. (*b*) Calcule la frecuencia umbral.

10. La frecuencia umbral para el cobre es 9.4×10^{14} Hz. Calcule (*a*) la energía cinética máxima de los fotoelectrones producidos; (*b*) la velocidad máxima de los fotoelectrones, y (*c*) la función de trabajo para el cobre.

11. Calcule la masa relativista de un electrón ($m_0 = 9.1 \times 10^{-34}$ kg) si se mueve a una velocidad que es nueve décimos de la velocidad de la luz.

12. Calcule la longitud de onda de la onda asociada con una masa de 100 kg que se mueve con una velocidad de 10 m/seg. Calcule la cantidad de movimiento de un electrón que tiene asociada una onda con una longitud de onda de 2×10^{-10} m.

13. Calcule la longitud de onda de la onda asociada a un electrón que está viajando con una velocidad de 3×10^6 m/seg.

14. Calcule la masa equivalente de una energía de 8.1×10^5 joules. Calcule la masa equivalente de una energía de 0.55×10^6 ev.

15. Calcule la energía equivalente para una masa de 10 kg en joules. Calcule la energía equivalente de una masa de 1.66×10^{-27} kg en electrón volts.

16. Calcule la masa equivalente de un fotón asociado con una radiación que tiene una frecuencia de 3×10^{16} Hz, en kg. Calcule la masa equivalente de un fotón que tiene una energía de 5.2 ev.

CAPITULO 2

La física del átomo

OBJETIVOS

Después de terminar en forma satisfactoria este capítulo, el estudiante será capaz de hacer lo siguiente:

1. Describir los modelos del átomo de Thomson y Rutherford.

2. Describir el experimento de la dispersión de partículas α, el cual nos permite decidir entre estos modelos.

3. Dar estimaciones del radio del átomo y del radio del núcleo y sus tamaños relativos.

4. Dar estimaciones de las masas relativas del protón y el electrón.

5. Describir las series espectrales del hidrógeno y calcular las frecuencias de las líneas en estas series a partir de la ecuación espectral.

6. Relacionar las series espectrales del hidrógeno con el átomo de Bohr y el diagrama de los niveles de energía para el hidrógeno.

7. Enunciar las hipótesis de la teoría del átomo de Bohr.

8. Explicar la cuantización del momento angular orbital de un electrón en términos de la onda estacionaria asociada con él.

9. Calcular la energía del electrón en el átomo de hidrógeno y en los iones con poblaciones semejantes de electrones en órbitas diferentes.

10. Describir la absorción de energía por los átomos.

11. Describir la fluorescencia y la fosforescencia en términos de la absorción y la emisión de energía por los átomos.

12. Describir la producción de radiación de frenado y de los rayos X característicos.

NOTA PRELIMINAR

En este capítulo y en el siguiente, se emplearán mucho las ecuaciones desarrolladas anteriormente en el curso, especialmente de mecánica y electricidad. Sugerimos que el lector repase la lista de ecuaciones dadas a continuación antes de comenzar este capítulo y que las consulte tan a menudo como sea necesario mientras se estudia esta parte del programa.

Fuerza centrípeta $F = \dfrac{mv^2}{R}$

Energía cinética $E_k = \dfrac{1}{2}mv^2$

Ley de Coulomb para cargas puntuales

$F = \dfrac{kq_1q_2}{}$, $k = 9 \times 10^9$ N·m²/(coulomb)²

Potencial eléctrico (cargas puntuales)

$U = \dfrac{kq_1q_2}{R}$

1 coulomb = 6.25×10^{18} *cargas elementales*

1 carga elemental = 1.6×10^{-19} coulombs

Sección 1. *El átomo de Rutherford*

Nota: La palabra *átomo* viene del griego y significa "lo que ya *no se puede* subdividir más" o "lo que no tiene partes". Este es el sentido en el cual los filósofos griegos Demócrito y Leucipo (alrededor del año 500 a.C.) emplearon por primera vez la palabra. De acuerdo con ellos, los átomos de diferentes tamaños y formas eran los elementos finales de toda la materia y que ningún objeto material podría subdividirse más allá de los átomos.

No tenemos una elaboración detallada de esta teoría como fue propuesta por Demócrito o Leucipo. Las únicas elaboraciones que nos han llegado se encuentran en la obra *De Rerum Natura* escrita por Lucrecio (cuya capacidad como poeta no se pone en duda pero sí con respecto a su mérito científico) y en las teorías morales de los epicúreos (quienes no hicieron nada para desarrollar las posibilidades de la teoría como una hipótesis científica). En efecto, la teoría

atómica no tuvo un carácter muy científico o intelectual entre los científicos o filósofos de la antigüedad y la noción no encontró una función científica real hasta que fue adoptada en la química por John Dalton alrededor de 1800.

Los átomos de Dalton son las partículas materiales más pequeñas que mantienen las características fundamentales del elemento al que pertenecen. Algunas veces se les calificó de "bolas de billar" pues se consideraba que eran esféricos y absolutamente constantes en su indivisibilidad. Las substancias elementales de Dalton, es decir, las que ya no se pueden seguir analizando químicamente, consisten en átomos de una sola clase; las substancias compuestas están formadas de números constantes de diferentes tipos de átomos. Las combinaciones de los átomos son las moléculas. Ahora sabemos que el átomo de Dalton no tiene el nombre correcto; el átomo se encuentra lejos de ser sólido e indivisible, pero continuamos empleando la palabra para designar la partícula más pequeña que participa en las reacciones *químicas*.

1. En el efecto fotoeléctrico se observa que partículas cargadas eléctricamente salen de un metal iluminado por una radiación. En el efecto termoiónico se observa que un metal calentado a una alta temperatura emite partículas cargadas eléctricamente. En ambos casos, las partículas que salen del metal están (positivamente/negativamente) cargadas y se llaman _____.

* * * * *

negativamente; electrones.

2. El frotamiento vigoroso de una barra de cristal con una tela de seda produce una carga positiva en la barra y una carga negativa en la tela. Antes de ser cargada, la barra de cristal contiene números iguales de partículas cargadas positiva y negativamente. Cuando es frotada con seda, el cristal (pierde/gana) electrones. En el proceso de frotamiento, la tela de seda (pierde/gana) electrones.

* * * * *

pierda; gana.

3. La barra de cristal y la tela de seda descrita en el cuadro 2 y los metales empleados en los efectos fotoeléctrico y termónico están compuestos totalmente de partículas eléctricamente neutras llamadas *átomos*. Los electrones quitados al cristal y los emitidos por los metales

en los efectos fotoeléctrico y termoiónico provienen de estos átomos. para explicar la neutralidad eléctrica del átomo, debemos suponer que el átomo también contiene partes que son eléctricamente (positivas/negativas).

* * * * *

positivas.

4. Cada átomo es eléctricamente neutro y consiste, por lo menos en parte, en cantidades (iguales/desiguales) de carga positiva y negativa.

* * * * *

iguales.

5. Los portadores de carga negativa en un átomo son aquellas partículas que llamamos _____.

* * * * *

electrones.

6. La masa del átomo más pequeño (hidrógeno) es 1.67×10^{-27} kg; la masa de un electrón es 9.1×10^{-31} kg. La relación de la masa de un átomo de hidrógeno a la masa de un electrón es _____.

* * * * *

$$\frac{1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}} = 1840$$

7. Cualquier átomo tiene una masa que es (mucho menor que/mucho mayor que/igual a) la masa de un electrón. Un átomo es eléctricamente (positivo/negativo/neutro) porque contiene números (iguales/desiguales) de portadores de carga positiva y negativa.

* * * * *

mucho mayor que; neutro; igual.

8. Se sabe que la masa total del átomo de hidrógeno en concreto, consiste totalmente en la masa de su portador de carga positiva y de la masa de su portador de carga negativa· La masa de un portador de carga positiva en un átomo es aproximadamente (0.001/100/2000) veces la masa del electrón.

* * * * *

2000 (del cuadro 6, es 1840).

9. Se conoce que un átomo de oxígeno contiene exactamente 8 electrones. La carga positiva total que se encuentra en un átomo de oxígeno es de _____ cargas elementales.

* * * * *

8.

10. Los experimentos demuestran que el radio promedio de cualquier átomo es alrededor de 10^{-10} m. Recordemos que una unidad Angstrom ($\mathring{A}$) = 10^{-10} m. E lradio de un átomo es alrededor de _____ $\mathring{A}$.

* * * * *

1.

11. La carga negativa asociada con un átomo se explica por el número de electrones que forman parte del mismo. La masa de un electrón es muy pequeña comparada con la masa del átomo más pequeño y aparece el problema de cómo está distribuida la masa restante del átomo. Si está distribuida uniformemente en el átomo, entonces debe ocupar un volumen esférico cuyo radio es alrededor de _____ m.

* * * * *

10^{-10}.

12. Es posible que la carga positiva que pone en equilibrio a todas las cargas negativas de los electrones en un átomo esté distribuida uniformemente; también es posible que esté concentrada en un volumen más pequeño dentro del átomo en cuerpo compacto de masa y carga llamado núcleo. En el último caso, esperaríamos que el radio del núcleo fuera (menor que/mayor que/igual a) 1 A.

* * * * *

menor que.

13. Comenzamos, por tanto, con dos hipótesis diferentes sobre la estructura del átomo. La noción de que la carga positiva de un átomo está distribuida uniformemente en una esfera con un radio de 10^{-10} m fue propuesta por J. J. Thomson alrededor de 1900. El modelo de Thomson a menudo es llamado el modelo de *pudín de pasas* para el átomo, porque se supone que los electrones que neutralizan la carga

positiva están distribuidos en la masa de carga positiva como si fueran pasas en un pudín.

En el modelo del átomo de Thomson los portadores de carga positiva están distribuidos uniformemente a través del (átomo como un todo/núcleo del átomo) y [(1) la mayor parte del átomo es un vacío/(2) todo el espacio del átomo está ocupado por electrones y portadores de carga positiva].

* * * * *

el átomo como un todo; (2).

14. La hipótesis de que los portadores de carga positiva en un átomo *no* están distribuidos uniformemente a través del mismo, sino que están concentrados en una pequeña región en su centro fue propuesta por Ernest Rutherford y recibe el nombre de teoría *nuclear* del átomo. La región donde está concentrada la carga positiva, en esta teoría, se llama el _____ del átomo.

* * * * *

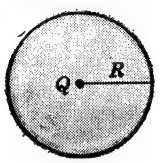
núcleo.

15. El radio del núcleo de un átomo es (mayor que/menor que/igual a) el radio del átomo.

* * * * *

menor que.

16. La ecuación para la magnitud del campo eléctrico en la super-



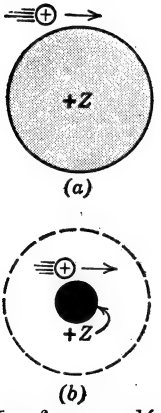
ficie de una esfera donde una carga Q está distribuida uniformemente está dada por la ecuación $E = k \frac{Q}{R^2}$.

Suponiendo que Q permanece constante, la magnitud del campo eléctrico en la superficie (aumenta/disminuye/permanece constante) conforme disminuye el diámetro de la esfera.

* * * * *

aumenta (porque R disminuye conforme disminuye el diámetro).

17. En estas figuras, cargas iguales (+Z) están confinadas a regiones de (igual/desigual) volumen.



La fuerza eléctrica ejercida por la carga (+Z), conforme una carga unitaria positiva pasa cerca de su superficie, es mayor en [(*a*)/(*b*)].

* * * * *

desigual; (*b*).

18. Consulte la figura del cuadro 17. Si el diámetro de la esfera en (*a*) es alrededor de 1 Å y despreciamos el efecto de los electrones, la figura (*a*) podría representar la distribución de carga positiva del modelo para el átomo (Thomson/nuclear) y la figura (*b*) podría representar la distribución de carga positiva del átomo (Thomson/nuclear). ¿Por qué?

* * * * *

Thomson; nuclear.

La carga positiva en un átomo de Thomson está distribuida uniformemente a través del volumen del átomo; en el átomo nuclear está confinada a una pequeña región central.

19. El efecto del campo eléctrico en la superficie de un átomo de Thomson sobre una partícula cargada que pasa cerca será (lo mismo que/diferente que) el efecto del campo eléctrico en la superficie del núcleo de un átomo de Rutherford.

* * * * *

diferente que.

20. Podemos probar estas hipótesis sobre la estructura de los átomos bombardeándolos con partículas cargadas que se mueven rápidamente. Podemos suponer que el efecto de los electrones sobre tales partículas es despreciable. Una partícula cargada que se mueve cerca de la superficie del *núcleo* de un átomo en el modelo nuclear estará sujeta a una fuerza eléctrica (mayor/menor) que la misma partícula si se mueve cerca de la superficie de un átomo en el modelo del pudín de pasas.

* * * * *

mayor.

21. La naturaleza nos ha proporcionado una fuente adecuada de tales partículas cargadas, en la forma de partículas emitidas a grandes velocidades a partir de ciertas substancias (llamadas radiactivas). Examinaremos estos materiales y sus partículas de decaimiento con mayor detalle en el capítulo 3. Por el momento nos interesan solamente en las partículas positivamente cargadas emitidas por substancias como el radio con *velocidades casi uniformes* de aproximadamente 10^7 m/seg. Estas partículas alfa (α) tienen una carga de +2 cargas elementales y la masa de un átomo de helio (aproximadamente 6.7×10^{-27} kg). La masa de una partícula α (es aproximadamente 8000 veces la masa de un electrón) nos permite suponer que sus interacciones con cualesquiera electrones de un átomo que se va a investigar tienen un efecto despreciable sobre su trayectoria. Cualquier cambio en la velocidad o la dirección de una partícula α, conforme pasa a través de un átomo, es debido a su interacción con los portadores de carga (positiva/negativa) del átomo.

* * * * *

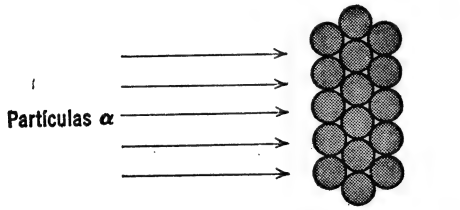
positiva.

22. Las partículas α de la misma fuente tienen (velocidades que varían ampliamente/aproximadamente la misma velocidad). Todas las partículas α están cargadas (positivamente/negativamente) y tienen masas que son (mucho mayores que/mucho menores que/iguales que) las masas de los electrones.

* * * * *

aproximadamente la misma velocidad; positivamente; mucho mayores que.

23. En esta figura, las partículas α se emplean para bombardear una lámina de oro muy delgada. (El oro se puede laminar en hojas tan delgadas que sea transparente a la luz.)



Como ésta es la forma en la que están distribuidos los átomos de oro en el *modelo de Thomson*, la carga positiva está distribuida uniformemente. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son las más probables?

(1) Ninguna de las partículas α pasa a través de la lámina.
(2) Algunas de las partículas α pasan a través de la lámina, mientras que otras son reflejadas en la dirección de donde venían.
(3) Todas las partículas α pasan a través de la lámina.

* * * * *

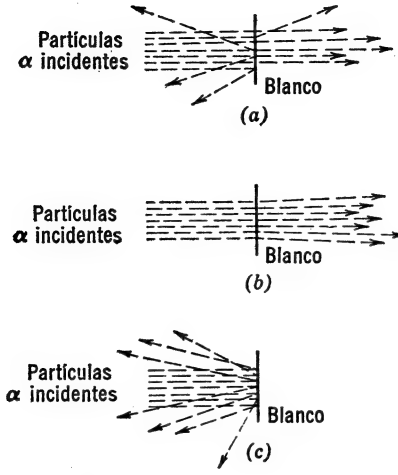
(1) Si el campo de los átomos es suficientemente grande para detener algunas de las partículas α, deberá detener a todas.
(3) Todas las partículas α avanzan a la misma velocidad y el campo eléctrico a través del cual pasan está distribuido uniformemente. Si algunas logran pasar, es probable que todas pasen.

24. En realidad, la consideración de las velocidades muy grandes de las partículas α y la magnitud del campo eléctrico predicho para el átomo de Thomson sugiere que el bombardeo de una lámina delgada de oro, en el vacío, por partículas α es análogo a disparar a corta distancia balas de *alta velocidad* en una paca de heno. ¿Cuáles de las posibilidades [(1)/(2)/(3)] presentadas en el cuadro 23 está predicha por la teoría del átomo de Thomson?

* * * * *

(3) Todas deben salir con poca o ninguna deflexión con respecto a sus trayectorias originales.

25. Si la teoría del átomo de Thomson es correcta, ¿cuál figura



[(*a*)/(*b*)/(*c*)] representa lo que debiera ser el efecto de bombardear una lámina delgada de metal con partículas α?.

* * * * *

(*b*)

26. Consulte el panel 8. La figura 1 es un dibujo esquemático del aparato empleado para estudiar la estructura del átomo y en esta forma nos hace posible tomar una decisión entre la hipótesis nuclear y la del pudín de pasas. El aparato consiste en una *fuente* de partículas α con velocidad conocida, un blanco y un *detector* de partículas α para mostrar exactamente cómo las trayectorias de las partículas α incidentes son alteradas por la interacción con los átomos del blanco. La pantalla fluorescente emite puntos luminosos en los lugares en donde las partículas cargadas chocan a una alta velocidad.

En este experimento específico, una delgada lámina de oro actúa como (fuente de partículas α detector/blanco); un trozo de polonio actúa como (fuente de partículas α /detector/blanco); y la pantalla circular fluorescente actúa como (fuente de partículas α /detector/blanco).

* * * * *

blanco; fuente de partículas α; detector.

27. Panel 8, figura 1. Las partículas α de cualquier fuente radiactiva tienen una velocidad uniforme. El bloque de plomo sirve para

absorber cualquier partícula α que no se esté moviendo hacia el blanco. Las partículas que chocan contra el blanco tienen (la misma velocidad/diferentes velocidades).

* * * * *

la misma velocidad.

28. Panel 8, figura 1. Esta figura muestra lo que se observa en realidad cuando las partículas α bombardean una película delgada de oro. La *mayor* parte de las partículas α pasan a través de la película ya sea directamente o desviadas ligeramente de sus trayectorias originales. Esto (es/no es) verdadero para las partículas α que chocan en la pantalla en los puntos 2, 3 y 4 después de que interactúan con la hoja de oro.

* * * * *

no es.

29. Panel 8, figura 1. La teoría de la estructura atómica de Thomson predice que (todas/algunas/ninguna) de las partículas α pasan a través de la hoja de oro con desviaciones ligeras. La teoría de Thomson (predice/no predice) la dispersión observada realmente en este experimento.

* * * * *

todas; no predice.

30. Panel 8, figura 1. Los resultados de este experimento nos mueven a rechazar la hipótesis de Thomson. Veamos si la teoría nuclear puede explicar en forma más adecuada la dispersión observada de las partículas α. La figura 2 representa tres partículas α que chocan con el mismo átomo y a la misma velocidad. La trayectoria de la partícula α incidente está más lejos del centro del núcleo en [$(a)/(b)/(c)$]; está más cerca del centro del núcleo en [$(a)/(b)/(c)$.] El ángulo (θ) entre la trayectoria de la partícula α después de que interactúa con la carga nuclear y su trayectoria inicial (la línea punteada) es una medida de la desviación producida en su trayectoria por el efecto de la carga nuclear. La deflexión es máxima cuando la distancia (d) entre el centro del núcleo y la trayectoria inicial de la partícula α es (más grande/más corta).

* * * * *

(a); (c); más corta.

31. Panel 8, figura 2. La fuerza eléctrica que ejerce el núcleo sobre la partícula α es mayor en [(*a*)/(*b*)/(*c*)] cuando la partícula α está (más lejos de/más cerca de) el núcleo. La magnitud de la dispersión de la partícula α con respecto a su trayectoria inicial (depende de/es independiente de) su distancia al núcleo.

* * * * *

(*c*); más cerca de; depende de.

32. Panel 8, figura 1. El hecho de que la mayor parte de las partículas α incidentes pasen a través de la hoja con muy poca o ninguna deflexión significa que pasan a través de los átomos a distancias relativamente (grandes/pequeñas) de sus núcleos. Esto sugiere que el diámetro de un átomo es (mucho mayor/sólo ligeramente mayor) que el diámetro de su núcleo.

* * * * *

grande; mucho mayor.

33. Panel 8, figura 1. Las partículas α que son dispersadas a los puntos 2, 3 y 4 sobre el detector son aquellas cuyas trayectorias estaban (cerca/lejos) de los núcleos de los átomos de oro.

* * * * *

cerca.

34. Panel 8, figura 1. El átomo (de Thomson/de la teoría nuclear) predice el gran ángulo de dispersión de algunas de las partículas α en el experimento.

* * * * *

de la teoría nuclear.

35. Un análisis matemático detallado de la dispersión de partículas α por medio de láminas delgadas (que no intentamos hacer aquí) demuestra que las trayectorias de las partículas desviadas son tales, que son las que deben esperarse de fuerzas de repulsión asociadas con cargas puntuales. Las cargas puntuales estan asociadas con la partículas α y el núcleo. Las cargas nucleares para los átomos de plata y oro son 47 y 79 cargas elementales, respectivamente. La dispersión debida a una lámina de plata es (menor que/mayor que/la

misma que) la dispersión debida a una lámina de oro del mismo grueso.

* * * * *

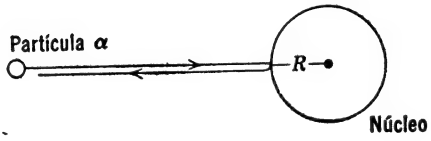
menor que.

36. Panel 8, figura 1. Cuando se emplean diferentes substancias como blancos, la dispersión de partículas α varía en una forma que sugiere que la carga nuclear de los átomos de determinada substancia es el número atómico (Z) de esa substancia multiplicado por la carga elemental unitaria. El número atómico del aluminio es 13. La carga del núcleo de un átomo de aluminio es —— cargas elementales.

* * * * *

13.

37.



En la dispersión de partículas α por láminas delgadas, algunas partículas α se acercan más al centro de un núcleo que otras. Las que se aproximan más son aquellas que son repelidas a lo largo de la trayectoria sobre la cual llegaron. Podemos emplear esta "distancia de máxima aproximación" como una medida muy aproximada del _____del núcleo.

* * * * *

radio.

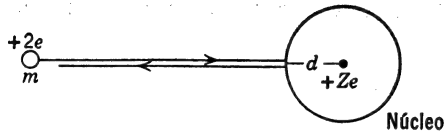
38. Cuando una partícula α sufre una colisión en la dirección de la recta que une al centro del núcleo y la partícula, descrita en el último cuadro, en el instante de su máximo *acercamiento* (toda/alguna/ninguna) de la energía cinética que tenía cuando salió de la fuente se ha convertido en energía potencial.

* * * * *

toda.

39.

Llamemos m a la masa de la partícula α. Si e es la magnitud de



la carga eléctrica de un solo electrón, la carga de una partícula α es (+/—) —— e. Si Z es el número atómico del átomo que se está estudiando, la carga del núcleo es (+/—) —— e. Si v es la velocidad de la partícula α conforme ésta se aleja del radio, la energía cinética inicial de la partícula α es $E =$ _____. Si d es la distancia de máximo acercamiento, la energía potencial de la partícula α, cuando se encuentra sobre la superficie del núcleo, es $U =$ _____, en términos de Z, e y d.

* * * * *

$+2;\ +Z;\ \frac{1}{2}mv^2;\ \frac{k(2e)(Ze)}{d} = \frac{2kZe^2}{d}$

40. Cuando la partícula α se encuentra a la distancia de máxima aproximación al centro del núcleo, $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{2kZe^2}{d}$ Resolver esta ecuación para d.

d representa una *aproximación* del radio del (átomo/núcleo del átomo).

* * * * *

$d = \frac{4kZe^2}{mv^2}$; núcleo del átomo.

41. Utilice los siguientes datos para estimar (a la potencia de 10 más próxima) el radio del núcleo de un átomo de oro:

$e = 10^{-19}$ coulombs
$v = 10^7$ m/seg
$m = 10^{-26}$ kg
$k = 10^{10}$ N · m²/coulombs²
$Z = 79$
$d =$ _____ m

* * * * *

$d = \frac{4kZe^2}{mv^2}$

$$d = \frac{(4)\,(10^{10}\ \mathrm{N}\cdot m^2/\mathrm{coulombs}^2)\,(79)\,(10^{-38}\ \mathrm{coulombs}^2)}{(10^{-26}\ \mathrm{kg})\,(10^{14}\ \mathrm{m/seg})}$$

$$d \approx 10^{-14}\ \mathrm{m}$$

42. Anteriormente hemos aprendido que el radio de un átomo es alrededor de _____ m ó _____ Å. Apenas hemos estimado el radio del núcleo de un átomo a partir de la dispersión de una partícula α. Es _____ m ó _____ Å. La relación del radio de un átomo al radio de su núcleo es _____.

* * * * *

10^{-10}; 1; 10^{-14}; 0.0001

$$\frac{10^{-10}\ \mathrm{m}}{10^{-14}\ \mathrm{m}} = 10^4 \text{ ó } 10{,}000$$

43. ¡El radio de un átomo es 10,000 veces más grande que el radio de su núcleo! La disposición de las partículas α indica que la carga positiva asociada con un átomo está [(1) distribuida uniformemente en el átomo/(2) concentrada en una porción muy pequeña del átomo].

* * * * *

(2).

44. La relación del radio de un átomo al radio de su núcleo es 10^4. La relación de sus volúmenes es el cubo de esto ó _____ (*número*). *Se sabe que los electrones asociados con un átomo constituyen una parte casi despreciable de su masa total* aunque constituyen toda su carga negativa. La dispersión de partículas α sugiere que la masa de un átomo está [(1) distribuida uniformemente en su volumen/(2) concentrada en una porción muy pequeña del volumen total del átomo].

* * * * *

10^{12}; (2)

45. El núcleo ocupa un volumen que es 10^{-12} ó 1/1.000,000,000,000 del volumen total de su átomo. Esto significa que (la mayor parte/una parte muy pequeña) del átomo es un vacío, y explica el hecho de que la mayoría de las partículas α en la figura 1 del panel 8

(necesitan/no necesitan) estar suficientemente cerca de un núcleo para ser desviadas perceptiblemente.

* * * * *

la mayor parte; no necesitan.

46. Panel 8, figuras 1 y 2. Cuando ocurre la dispersión de partículas α es el resultado de la (atracción/repulsión) electrostática entre cargas puntuales. La fuerza que interviene está dada por la ecuación de Coulomb, $F = \frac{kqQ}{r^2}$ Cuando consideramos el modelo del átomo de Thomson, notamos que el valor de F calculado a partir del modelo (es/no es) suficientemente grande para dispersar partículas α que tienen una alta velocidad.

* * * * *

repulsión; no es (*todas* las partículas α deberían pasar a través de la lámina).

47. El campo eléctrico máximo en el modelo de Thomson puede calcularse y es aproximadamente 10^{13} N/coulombs. El campo eléctrico máximo en el modelo nuclear del átomo (es decir, cerca de la superficie del núcleo) es 10^{21} N/coulombs. La fuerza eléctrica máxima ejercida sobre una partícula α por un átomo de este modelo es _____ veces la fuerza eléctrica máxima ejercida por un átomo de Thomson.

* * * * *

$\frac{10^{21}}{10^{13}} = 10^8$ ó 100,000,000

48. Estas cifras indican que si la dispersión ocurriera, es mucho más probable que ocurra si el átomo tiene la estructura supuesta en la hipótesis (de Thomson/nuclear). Aun en este caso son dispersadas muy pocas partículas en comparación con el gran número de ellas que bombardean el blanco debido a que muy pocas pasan suficientemente cerca del _____ del átomo para ser desviadas considerablemente.

* * * * *

nuclear; núcleo.

49. La teoría (de Thomson/nuclear) del átomo explica el resultado de la dispersión de las partículas α .

* * * * *

nuclear.

50. El átomo del modelo nuclear se llama a menudo el átomo de *Rutherford* en honor de Ernest Rutherford quien encabezaba el grupo que llevó a cabo e interpretó los primeros experimentos de dispersión de partículas α. También se ha calificado al átomo de modelo de sistema solar, ya que la concentración de masa en un núcleo cerca del centro, rodeado por electrones en órbitas circulares o elípticas, hace recordar al sistema solar en el cual vivimos. En realidad, las diferencias entre el sistema solar y el modelo nuclear del átomo son mucho más significativas científicamente que sus semejanzas. Por ejemplo, la fuerza que mantiene a los planetas en sus órbitas es de carácter (eléctrico/gravitacional); en tanto que la fuerza que mantiene a los electrones en sus órbitas es de carácter (eléctrico/gravitacional).

* * * * *

gravitacional; eléctrico.

51. El átomo de Rutherford consiste en una masa muy concentrada con una carga (positiva/negativa) llamada _____ rodeada por portadores de carga (positiva/negativa) llamados _____

* * * * *

positiva; núcleo; negativa; electrones.

52. La magnitud de la carga positiva del núcleo de un elemento dado es (menor que/mayor que/igual que) el número atómico del elemento. La carga negativa total proporcionada por los electrones en un átomo es (menor que/mayor que/igual que) la carga del núcleo.

* * * * *

igual que; igual que.

53. Consulte el panel 9. Es una tabla de elementos comunes con sus números atómicos. El núcleo de un átomo de carbono tiene una carga eléctrica de_____ cargas elementales. El núcleo de un átomo de carbono está rodeado por _____ electrones.

* * * * *

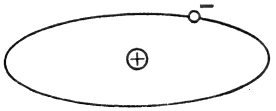
6; 6.

54. Panel 9. El elemento más sencillo es el hidrógeno. El núcleo de un átomo de hidrógeno tiene una carga (positiva/negativa) de____ cargas elementales, o _____ coulomb. Un átomo de hidrógeno tiene____ electrones.

* * * * *

1; 1.6×10^{-19}; 1.

55. Esta figura representa el modelo de Rutherford para un átomo



de _____.

* * * * *

hidrógeno.

56. Cuando un átomo de hidrógeno pierde su electrón, la partícula que queda se llama *protón*. Un protón tiene una carga de (+1/—1) cargas elementales. Su masa es aproximadamennte (2/20/2000) veces la masa de un electrón.

* * * * *

+1; 2000 (ya que la masa del átomo de hidrógeno es alrededor de 2000 veces la masa del electrón).

57. Los protones son portadores de carga positiva en los átomos. El número atómico del litio es____. El número de protones en su núcleo es____.

* * * * *

3; 3.

58. La dispersión de partículas α demuestra que los protones que forman la carga positiva de un átomo están [(1) distribuidos uniformemente a través del átomo/(2) concentrados en una región muy pequeña del átomo].

* * * * *

(2).

59. El experimento demuestra que, a excepción del hidrógeno, la masa de los protones en un núcleo atómico *no* explica toda la masa

del núcleo. La carga total de los protones en un núcleo (explica/no explica) toda la carga del núcleo.

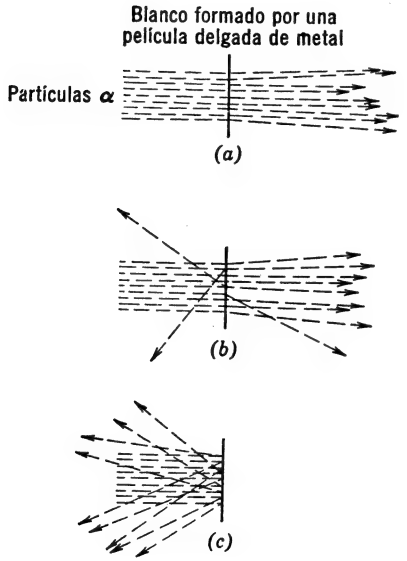
* * * * *

explica.

60. *Repaso.* En cada figura, partículas α de alta velocidad bombardean una delgada película metálica.
¿De las figuras [(*a*)/(*b*)/(*c*)] es la dispersión predicha por la teoría nuclear del átomo?

* * * * *

(*b*).



61. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) El modelo nuclear del átomo está asociado con J. J. Thomson.
(2) El átomo, según lo conocemos en la actualidad, es realmente indivisible.
(3) La masa de una partícula α es aproximadamente lo doble de la de un electrón.
(4) La carga de una partícula α es lo doble de la de un solo electrón, pero positiva.
(5) El átomo de Rutherford no explica la dispersión de partículas α en una lámina delgada.

(6) El modelo del átomo de pudín de pasas no explica la dispersión de partículas α en una lámina delgada.

* * * * *

(4); (6).

62. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) Todas las partículas α de la misma fuente radiactiva avanzan aproximadamente con la misma velocidad.
(2) La carga nuclear en un átomo de oro es + 1.
(3) La hipótesis de Thomson predice que las partículas α serán considerablemente desviadas conforme pasan a través de una lámina delgada.
(4) Los electrones se mantienen en un átomo del modelo nuclear debido a la atracción gravitacional.
(5) El volumen de un átomo es 100 veces mayor que el volumen de su núcleo.

* * * * *

(1).

63. *Repaso.* El radio de un núcleo atómico es alrededor de_____ Å. El núcleo de un átomo de hidrógeno se llama_____.

* * * * *

10^{-4} ó 0.0001; protón.

64. *Repaso.* El radio de un protón es aproximadamente_____m. El radio de un átomo de hidrógeno es_____m. El número atómico del uranio es 92. Un átomo de uranio contiene_____electrones y_____protones. La masa de estos electrones y protones juntos (constituyen/no constituyen) toda la masa del átomo de uranio.

* * * * *

10^{-14}; 10^{-10}; 92; 92; no constituyen.

65. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) La fuerza que causa la dispersión de las partículas α es de carácter electrostático.
(2) Los electrones de un átomo constituyen una parte considerable de la masa del átomo.
(3) Existe un gran espacio vacío en un átomo de Rutherford en comparación con el espacio que ocupa la materia.

(4) Los electrones de un átomo constituyen toda su carga negativa.
(5) Los protones de un átomo constituyen toda su carga positiva.

* * * * *

(1); (3); (4); (5).

Sección 2. Espectro de líneas; serie espectral del hidrógeno.

Nota: El modelo del átomo de Rutherford, llamado también el átomo del modelo nuclear o el modelo análogo al sistema solar, constituye una explicación razonable de la dispersión observada cuando las partículas α interactúan con los átomos de láminas metálicas delgadas. A continuación debemos considerar si puede constituir una explicación adecuada de los espectros que observamos, asociados con diferentes substancias. En esta sección se examinará con detalle el más simple de estos espectros y se indicará cómo se puede explicar de acuerdo con la estructura del átomo.

1. La radiación (incluyendo la luz) que está formada por ondas electromagnéticas de más de una frecuencia se llama (monocromática/policromática). Supongamos que la luz amarillenta de una fuente incandescente pasa a través de un prisma y se descompone en luz roja y verde. Esta particular luz "amarilla" es (monocromática/policromática).

La radiación consistente en ondas electromagnéticas de una sola frecuencia recibe el nombre de radiación (monocromática/policromática).

* * * * *

policromática; policromática; monocromática.

2. La luz blanca consiste en radiación electromagnética de (una frecuencia/muchas frecuencias diferentes). Por esta razón, se dice que la luz blanca es (monocromática/policromática).

* * * * *

muchas frecuencias diferentes; policromática.

3. Cuando se hace pasar luz blanca a través de un prisma conveniente a una rejilla de difracción, se descompone en sus colores monocromáticos constitutivos; aparece como una serie continua de color

que va desde el rojo, en un extremo, pasando por el anaranjado, amarillo, verde, y azul, hasta el violeta en el otro extremo. Todos los colores en este espectro continuo corresponden a (la misma frecuencia/diferentes frecuencias).

* * * * *

diferentes frecuencias.

4. La clasificación de las ondas electromagnéticas de acuerdo con la frecuencia se llama el _____ electromagnético. El espectro continuo y visible de colores producidos cuando la luz pasa a través de una rejilla de difracción (es/no es) parte de esta clasificación.

* * * * *

espectro; es.

5. La porción específica del espectro electromagnético que puede observarse a simple vista recibe el nombre de espectro _____

* * * * *

visible.

6. ¿Cuáles de las siguientes radiaciones *no* forman parte del espectro *visible*: (radiación infrarroja/luz verde/luz amarilla/luz ultravioleta)?

El espectro visible forma (todo/parte de) el espectro electromagnético.

* * * * *

radiación infrarroja; luz ultravioleta; parte de.

7. El intervalo de frecuencias observadas en el espectro electromagnético varía desde cero hasta aproximadamente 10^{25} Hz. El intervalo que es observable a simple vista se encuentra entre 4×10^{14} y 8×10^{14} Hz. El espectro visible es una parte (grande/muy pequeña) del espectro electromagnético.

* * * * *

muy pequeña.

8. En su estudio anterior sobre la luz, el estudiante aprendió que un *sólido* incandescente, *líquido*, o gas a una *alta presión* produce un espectro visible que es una banda continua de color que representa

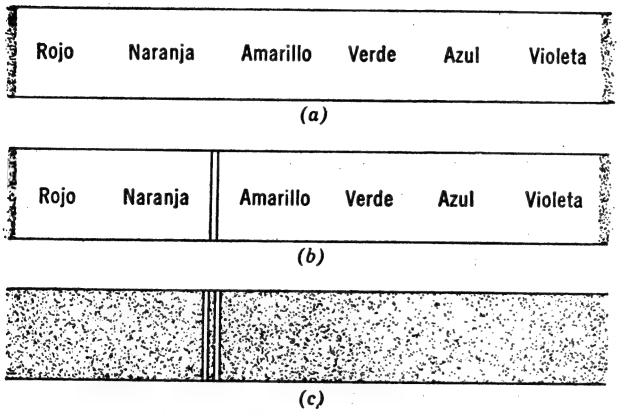
las ondas electromagnéticas de (una frecuencia/muchas frecuencias/pocas frecuencias).

* * * * *

muchas frecuencias.

9. Cuando se hace brillar un gas a *alta presión*, su espectro (es/no es) continuo. Cuando se hace brillar un gas a una *presión baja* o *moderada,* produce un espectro de emisión o de líneas brillantes, es decir, una o más líneas brillantes de color sobre un fondo obscuro.

La figura (*a*) (podría/no podría) ser el espectro de un gas bri-



llante y con presión baja; la figura [(*a*)/(*b*)/(*c*)] es un espectro de líneas brillantes.

* * * * *

es; no podría; (*c*).

10. El espectro de un sólido o líquido incandescente es un espectro (continuo/de líneas brillantes). El espectro de un gas que es incandescente y con una presión baja es un espectro (continuo/de líneas brillantes). En general, cuanto menor sea el número de frecuencias que ocurren en un espectro, menos complicado es el espectro; el espectro de un sólido incandescente es (más/menos) complicado que el espectro de un gas incandescente con presión baja.

* * * * *

continuo; de líneas brillantes; más.

11. Es mucho (más/menos) probable que los átomos de sólidos y líquidos interactúen entre sí que los átomos de un gas. Si nos interesa

estudiar la estructura únicamente del átomo, y evitando las interacciones complicadas con otros átomos, entonces es mejor estudiar una substancia en su estado (sólido/líquido/gaseoso).

* * * * *

más; gaseoso.

12. Los átomos de gases con baja presión se encuentran (más cerca/más lejos) entre sí que los átomos de gases con una presión alta. Es más probable que evitemos la complicación debida a la interacción entre las moléculas y los átomos si estudiamos un gas cuando se encuentra a una presión (alta/baja).

* * * * *

más lejos; baja.

13. En este capítulo nos interesa especialmente estudiar la estructura interna del átomo y no su interacción con otros átomos. Un método para observar indirectamente lo que ocurre dentro de los átomos es analizar los espectros producidos cuando muestras de varios elementos se vuelven *luminosos*, es decir, se les hace brillar. Los espectros que más nos interesan para este propósito son los espectros (continuos/de líneas brillantes), debido a que es más probable que tales espectros reflejen las interacciones entre los átomos.

* * * * *

líneas brillantes.

14. El átomo de hidrógeno tiene la masa y la carga nuclear más pequeñas de cualquier átomo y es el menos complicado en su estructura. El espectro *visible* del hidrógeno se muestra en la figura 1 del panel 10. Es un espectro (continuo/de líneas brillantes).

* * * * *

de líneas brillantes.

15. El panel 10, figura 1. El espectro visible del hidrógeno consiste en una *serie* de líneas brillantes que (se juntan/se alejan) conforme pasamos de frecuencias bajas a frecuencias altas. La línea brillante en el extremo de las frecuencias pequeñas en este espectro es_____ (color) y tiene una longitud de onda de_____Å.

* * * * *

se juntan; roja; 6563.

16. Panel 10, figura 1. El espectro visible del hidrógeno consiste en un grupo de líneas brillantes llamadas _____. Conforme nos movemos de frecuencias menores a frecuencias altas estas líneas (convergen/divergen); conforme pasamos de longitudes de onda menores a longitudes de onda mayores, ellas (convergen/divergen).

* * * * *

serie; convergen; divergen.

17. La serie de líneas brillantes que constituyen el espectro visible del hidrógeno recibe el nombre de serie de *Balmer*, en honor del maestro suizo que inventó un método puramente *matemático* para predecir la posición exacta de estas líneas dentro del espectro. La forma moderna de su ecuación es

$$f = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right),$$

en la cual $R = 3.29 \times 10^{15}$/seg
$n_f = 2$; y n_i es cualquier número entero mayor que 2. Calcule las frecuencias para $n_f = 3$ y $n_i = 4$.

¿Existe una línea correspondiente para $f = 5.0 \times 10^{14}$ en la serie Balmer del hidrógeno? Explique.

* * * * *

cuando $n_i = 3, f = 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right)$

$= 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{5}{36}\right) = \mathbf{4.57 \times 10^{14}}$

cuando $n_i = 4, f = 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right)$

$= 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{16}\right)$

$= 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{3}{16}\right) = \mathbf{6.17 \times 10^{14}/seg}$

¡No! Ya que 5.00×10^{14} se encuentra entre los valores de f calculados apenas para $n_i = 3$ y $n_i = 4$, no existe un número entero que podamos substituir por n_i en esta ecuación para obtener 5.00×10^{14}.

18. Panel 10, figura 1. Esta serie de líneas brillantes en el espectro

visible del hidrógeno recibe el nombre de serie de _____. La fórmula para calcular las frecuencias de las líneas que aparecen en esta serie es $f =$ _____, en donde $R = 3.92 \times 10^{15}$, n_f es el número ____, y n_i es cualquier (número/número entero) (mayor que/menor que) n_f.

* * * * *

Balmer; $R\left(\frac{1}{n_f} - \frac{1}{n_i}\right)$; 2; entero; mayor que.

19. Panel 10, figura 1. Para encontrar el límite hacia el cual converge la serie de Balmer, calculamos el valor de f conforme n_i tiende al infinito. En este caso $1/n_i^2$ tiende a (uno/cero/infinito), y la ecuación para f se reduce a $f =$ _____.

* * * * *

0; $R\left(\frac{1}{n_f^2}\right)$ o como $n_f = 2$, $\frac{R}{4}$

20. Panel 10, figura 1. Calcule el valor de R/n_f^2 para la serie de Balmer. Este valor recibe el nombre de *límite de la serie.* (todas/algunas/ninguna) de las líneas brillantes de la serie de Balmer existen a la izquierda de este límite.

* * * * *

$$\frac{R}{n_f^2} = \frac{3.29 \times 10^{15}}{4} = 0.823 \times 10^{15} = 8.23 \times 10^{14}$$

Todas.

21. Notemos que *no* desarrollamos la fórmula que predice la posición de las líneas del espectro visible del hidrógeno a partir de principios *físicos.* En efecto, empleamos solamente un dispositivo matemático que da la posición de cualquier línea observada del espectro. Las frecuencias para las primeras cuatro líneas, aquellas que corresponden a $n_i = 3$, 4, 5 y 6 en la fórmula, están dadas en la figura. La siguiente línea puede encontrarse si substituimos $n_i =$ ____ en la fórmula. Calcule la frecuencia de la quinta línea en la serie de Balmer.

* * * * *

7.

$$f = 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{7^2}\right)$$
$$= 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{49}\right)$$
$$= 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{45}{196}\right)$$
$$= 7.5 \times 10^{14}/\text{seg}$$

22. (Hemos/No hemos, desarrollado la ecuación para la serie de Balmer a partir de principios físicos. Logra predecir las _____ _____de las líneas en el espectro visible del_____

* * * * *

No hemos; frecuencias; hidrógeno.

23. Hasta el momento, tenemos una buena fórmula, pero que no se ha desarrollado a partir de ningún principio o teoría física. Veamos si esta ecuación puede generar otras series observables del hidrógeno. Si lo hace, estaremos tentados a buscar los principios físicos que la explican; si no lo hace, puede ser una de esas regularidades limitadas que encontramos en la ciencia las cuales tienen poco significado teórico.

Cuando empleamos la fórmula $f = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$ hicimos n_f y n_i = (1, 2, 3, etc./2, 3, 4, etc./3, 4, 5, etc.).

Supongamos ahora que hacemos $n_f = 3$ y $n_i = 4, 5, 6$, etc. La primera línea en la nueva serie debe tener una frecuencia de f = _____.

* * * * *

2; 3, 4, 5, etc. ;

$$f = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) = 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}\right)$$
$$= 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{9} - \frac{1}{16}\right) = 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{7}{144}\right)$$
$$= \mathbf{1.60 \times 10^{14}\ cps}$$

24. $f = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$. Cuando $n_f = 3$ y n_i 4, la frecuencia esperada de 1.60×10^{14} Hz. Esto se encuentra (arriba de/abajo de)

el intervalo de frecuencias del espectro visible y puede encontrarse en la región (ultravioleta/infrarroja) del espectro.

* * * * *

abajo de; infrarroja.

25. Si una línea del espectro del hidrógeno existe en la región infrarroja, no será visible pero puede detectarse sobre una placa fotográfica. Antes de comprobar esto experimentalmente, calcule las frecuencias de la *segunda* y *tercera* líneas que esperamos observar en la serie infrarroja.

* * * * *

Para la segunda línea $n_i = 5$ y

$$f = 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{5^2}\right)$$

$$= 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{9} - \frac{1}{25}\right)$$

$$= 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{16}{225}\right)$$

$$= \mathbf{2.34 \times 10^{14}}$$

Para la tercera línea $n_i = 6$ y

$$f = 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{6^2}\right)$$

$$= 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{9} - \frac{1}{36}\right)$$

$$= 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{3}{36}\right)$$

$$= \mathbf{2.74 \times 10^{14}\ Hz}$$

26. Podemos calcular el límite de esta serie calculando f cuando $n_f = 3$ y $n_i \to \infty$. Todos los miembros de la serie de las líneas que constituyen el espectro del hidrógeno en el infrarrojo deben estar a la izquierda de $f =$ _____

* * * * *

$$f = 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

Como $n_i \to \infty$, $\dfrac{1}{n_i^2} \to 0$, y

$$f = \frac{3.29 \times 10^{15}}{n_f^2}$$

Para $n_f = 3$, $f = \dfrac{3.29 \times 10^{15}}{9} = \mathbf{3.65 \times 10^{14}\ Hz}$

27. Hemos empleado la fórmula $f = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$ para predecir una serie espectral del hidrógeno en la región infrarroja del espectro electromagnético. Las primeras tres líneas deben estar en $f = 1.60 \times 10^{14}$, $f = 2.34 \times 10^{14}$ y $f = 2.74 \times 10^{14}$, y la serie debe converger a un límite en 3.65×10^{14}. Consulte ahora la figura 2 del panel 10. Este es el espectro observado experimentalmente del hidrógeno en las regiones infrarroja y visible del espectro. (Verifique/no verifique) las predicciones que hicimos para la región infrarroja del espectro del hidrógeno.

* * * * *

Verifique.

28. Panel 10, figura 2. La serie espectral del hidrógeno en la región visible recibe el nombre de serie de _____. Las frecuencias de las líneas en esta serie pueden calcularse cuando el número ___ es substituido por n_f y los números enteros a partir de ____ son substituidos por n_i. La serie espectral del hidrógeno en la región infrarroja recibe el nombre de serie de _____ Las frecuencias de las líneas en esta serie pueden calcularse cuando el número ___ es substituido por n_f y los números enteros que comiencen por ____ son substituidos por n_i.

* * * * *

Balmer; 2; 3; Paschen; 3; 4.

29. $f = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$ Esta fórmula nos permite calcular la posición de una línea en el espectro visible del hidrógeno cuando $(n_f/R/n_i) = 3, 4, 5$, etc., y $(n_f/R/n_i) = 2$. Nos permite calcular las posiciones observadas del espectro del hidrógeno en la región infrarroja cuando $(n_f/R/n_i) = 4, 5, 6$, etc., y $(n_f/R/n_i) = 3$.

* * * * *

n_i; n_f; n_i; n_f.

30. Hemos visto que el hidrógeno produce un espectro de líneas en las regiones visible e infrarroja del espectro electromagnético. (Solamente una/ambas/ninguna) de éstas pueden predecirse exactamente con la fórmula para la serie espectral.

* * * * *

ambas.

31. Cuando aplicamos la fórmula de la serie espectral para calcular el espectro visible del hidrógeno, utilizamos $n_f = 2$ y $n_i = 3, 4, 5$, etc. Cuando aplicamos la misma fórmula para predecir la región infrarroja del espectro del hidrógeno, empleamos $n_f = 3$ y $n_i = 4, 5, 6$, etc. Si existe una serie espectral del hidrógeno en la región ultravioleta y si las frecuencias de sus líneas pueden calcularse a partir de la misma ecuación, debemos emplear $n_f =$ — y $n_i =$ —, —, —, etc., ya que estas líneas tendrán frecuencias más altas y el valor de $R\left(\frac{1}{n_f} - \frac{1}{n_i}\right)$ aumentará conforme n_f (aumenta/disminuye).

* * * * *

1; 2, 3, 4; disminuye.

32. Utilice la fórmula de la serie espectral para predecir la frecuencia de la primera línea en la región ultravioleta del espectro del hidrógeno y el límite de la serie, suponiendo que existe tal espectro.

* * * * *

$$f = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right),$$

Para la primera línea en el ultravioleta
$n_i = 2$ y $n_f = 1$,

de manera que $f = 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)$

$= 3.29 \times 10^{15}(1 - \frac{1}{4}) = (3.29 \times 10^{15})(\frac{3}{4})$

$= \mathbf{2.5 \times 10^{15}}$

límite de la serie $= \frac{R}{n_f^2} = \frac{3.29 \times 10^{15}}{1^2} = \mathbf{3.29 \times 10^{15}}$

33. Consulte el panel 10, figura 3. Esta es la serie espectral *observada* del hidrógeno en el ultravioleta. Recibe el nombre de serie de _____ y (es/no es) la serie predicha por la fórmula para la serie espectral. (Compare sus respuestas en el último cuadro con las frecuencias ilustradas en la figura.)

* * * * *

Lyman; es (el lector que tenga duda puede substituir 3, 4, 5 por n_i y 1 por n_f para comprobar las frecuencias mostradas para la segunda, tercera y cuarta líneas).

34. Recordemos que una de las pruebas cruciales de la teoría ciné-

tica de los gases es nuestra habilidad para desarrollar a partir de sus suposiciones una expresión equivalente a la ley de Boyle y otras leyes que predicen el comportamiento de los gases.

Si suponemos que la serie espectral de cualquier elemento está determinada en gran parte por la estructura de los átomos de ese elemento, ¿puede usted sugerir alguna prueba decisiva de cualquier teoría sobre la estructura atómica que desarrollaremos posteriormente en este curso?

* * * * *

Cualquier buena teoría de la estructura atómica debe permitirnos desarrollar una expresión que sea equivalente a la ecuación de la serie espectral.

35. *Repaso.* La serie espectral del hidrógeno que hemos examinado tiene las características de los espectros (continuos/de líneas brillantes) de los (sólidos/líquidos/gases) incandescentes con presiones (altas/bajas). El espectro visible del hidrógeno recibe el nombre de serie de _____; el espectro en la región infrarroja recibe el nombre de serie de _____; y el espectro en la región ultravioleta recibe el nombre de serie de _____

* * * * *

líneas brillantes; gases; bajas; Balmer; Paschen; Lyman.

36. *Repaso.* La fórmula para las series espectrales es

f = _____

R = _____

n_i y n_f son (siempre/algunas veces/nunca) números enteros.

* * * * *

$R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$; 3.29×10^{15} Hz; siempre

37. *Repaso.* La fórmula para las series espectrales del hidrógeno predice la serie de Balmer cuando n_f = ___ y n_i es igual a o mayor que ___. Predice la serie de Lyman cuando n_f = ___ y n_i es igual que ___. Predice la serie de Paschen cuando n_f = ___ y n_i es igual a o mayor que —.

* * * * *

2; 3; 1; 2; 3; 4.

38. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes afirmaciones son verdaderas?

(1) Hemos desarrollado la fórmula de las series espectrales a partir del modelo de Rutherford para el átomo de hidrógeno.
(2) La serie de Lyman es un espectro continuo.
(3) La serie de Paschen es un espectro de líneas brillantes en la región infrarroja.
(4) La serie de Paschen no está predicha por la fórmula de la serie espectral.
(5) La serie de Balmer se encuentra en la región visible del espectro del hidrógeno.

* * * * *

(3); (5).

Sección 3. Teoría de Bohr del átomo de hidrógeno

1. La siguiente pregunta que tenemos que examinar es ¿cómo podemos explicar los espectros de líneas brillantes en términos de la estructura atómica? Específicamente, ¿cómo podemos explicar el espectro de líneas brillantes para el hidrógeno en términos de la estructura del átomo? Cualquier teoría que desarrollemos con respecto a la estructura del átomo de hidrógeno debe permitirnos desarrollar _____ (*completar*).

* * * * *

La fórmula de las series espectrales.

2. La teoría clásica de las ondas electromagnéticas asocia su producción con la aceleración de_____. Las ondas de radio se producen cuando los_____se hacen mover en un sentido y en otro en una antena con movimiento armónico simple, que (es/no es) un tipo de movimiento acelerado; las ondas de radio (son/no son) ondas electromagnéticas.

* * * * *

partículas cargadas; electrones; es; son.

3. De acuerdo con la teoría *clásica*, como los electrones en una antena no absorben energía externa para reemplazar la energía electromagnética que emiten, los electrones (continúan/dejan de) acelerar y (continúan/dejan de) emitir ondas electromagnéticas.

* * * * *

dejan de; dejan de.

4. De acuerdo con la teoría clásica, cuando una partícula cargada se acelera emite ondas electromagnéticas y (gana/pierde) energía.

* * * * *

pierde.

5. El análisis de la cavidad radiante hecho por Planck mostró que la teoría (clásica/cuántica) de la radiación electromagnética no es siempre perfectamente consistente con los hechos observados.

* * * * *

clásica.

6. Veamos si la teoría del átomo de Rutherford y la teoría clásica de las ondas electromagnéticas pueden explicar el espectro observado de líneas brillantes del hidrógeno considerado en la sección 2. Tal espectro es una clasificación de las ondas electromagnéticas emitidas por el hidrógeno (frío/brillante) de acuerdo con las_____ de las ondas emitidas.

* * * * *

brillante; frecuencias.

7. Es característico de los espectros de líneas brillantes en general y de las series espectrales del hidrógeno en particular, el contener (todas/ninguna/solamente algunas) de las posibles frecuencias disponibles en el espectro electromagnético. Es decir, (son/no son), continuas.

* * * * *

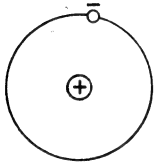
solamente algunas; no son.

8. De acuerdo con la teoría clásica, la emisión de las radiaciones infrarroja, visible y ultravioleta en el hidrógeno es debida a la _____de las partículas _____en los átomos de hidrógeno.

* * * * *

aceleración; cargadas.

9. El átomo de Rutherford también se conoce como modelo del sistema solar. Un átomo de hidrógeno, de acuerdo con esta teoría, consiste de un protón alrededor del cual gira un solo electrón como lo hace un planeta alrededor del Sol.



El electrón sigue una trayectoria curva y en esta forma (siempre/algunas veces/nunca) está acelerado.

* * * * *

siempre.

10. Si el electrón en un átomo de hidrógeno está siempre acelerado, entonces, de acuerdo con la teoría clásica, el átomo debe (siempre/algunas veces/nunca) emitir radiación electromagnética.

* * * * *

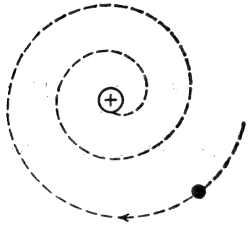
siempre.

11. Pero si el átomo está siempre emitiendo radiación electromagnética, entonces su electrón debe siempre estar (perdiendo/ganando) energía y se debe esperar que continuamente (se acerque/se aleje) al núcleo si no existe una fuente externa de poder que reponga esta energía.

* * * * *

perdiendo; se acerque.

12. De acuerdo con la teoría clásica, un electrón en el modelo del sistema solar debe acercarse a lo largo de una espiral en dirección al núcleo, cuando no se proporciona energía externa.



Puede demostrarse que esto debe ocurrir en una fracción muy pequeña de un segundo. A este respecto, la estabilidad observada en los electrones con respecto a sus órbitas cuando no se suministra energía al átomo (es/no es) consistente con la teoría clásica.

* * * * *

no es.

13. Otra predicción de la teoría clásica de la radiación electromagnética y del modelo del sistema solar para el átomo, es que los átomos deben emitir radiación en un espectro continuo. Esta predicción (es/no es) consistente con los espectros de líneas brillantes características del hidrógeno.

* * * * *

no es.

14. La teoría clásica predice que siempre que una partícula cargada es acelerada, emite radiación electromagnética. Si suponemos que el electrón en un átomo siempre debe girar alrededor del núcleo, entonces el átomo (nunca/siempre/algunas veces) debe emitir radiación.

* * * * *

siempre.

15. Pero observamos que un átomo de hidrógeno emite radiación solamente después de que le es proporcionada desde el exterior, es decir, tan pronto como se ha vuelto luminoso por algún medio. Podríamos salvar a la teoría clásica de la radiación electromagnética si pudiéramos demostrar que, por lo común, el electrón de un átomo de hidrógeno *no se mueve*. Pero sabemos que (existe/no existe) una fuerza no balanceada entre el núcleo del átomo y su electrón. Un electrón (puede/no puede) estar en reposo en el átomo de hidrógeno.

* * * * *

existe; no puede.

16. Cada línea brillante en el espectro del hidrógeno es producida por ondas electromagnéticas de (una sola frecuencia/muchas frecuencias diferentes). Cada línea del espectro está formada por fotones que tienen (la misma energía/diferentes energías).

* * * * *

una sola frecuencia; la misma energía.

17. La naturaleza de la serie espectral del hidrógeno indica que la energía emitida por el átomo de hidrógeno es (continua/cuantizada). Recordemos que la energía emitida por los osciladores en una cavidad radiante fue supuesta (continua/cuantizada) por Planck. Estas observaciones no son consistentes con_____(*completar*).

* * * * *

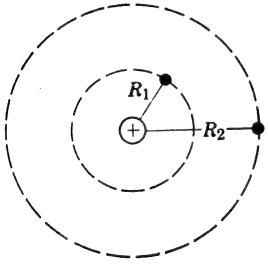
cuantizada; cuantizada; la teoría clásica de la radiación electromagnética.

18. Para explicar el hecho de que el átomo de hidrógeno no emite ondas electromagnéticas en forma continua, Niels Bohr hizo la hipótesis de que el electrón en un átomo de hidrógeno existe solamente en ciertas órbitas *permitidas* y que mientras se encuentre en cualquiera de estas órbitas, el electrón *no* emite energía. De acuerdo con Bohr, entonces, ¿cuándo se pueden producir las líneas de la serie espectral?

* * * * *

Mientras el electrón se está moviendo entre órbitas permitidas; mientras está cambiando de una órbitra permitida a otra, etc.

19. De acuerdo con la teoría de Bohr del átomo de hidrógeno, el átomo emite un fotón siempre que su electrón cambie de una órbita permitida con una energía superior a una órbita cuya energía sea inferior.



Puede demostrarse que el electrón en una órbita con un radio mayor tiene mayor energía. De acuerdo con Bohr, este átomo emite radiación electromagnética [(1) mientras está en órbita con un radio R_1/(2) mientras se encuentra en una órbita con radio R_2/(3) cuando cambia de una órbita con radio R_1 a otra con radio R_2/(4) cuando cambia de una órbita con radio R_2 a otra con radio R_1].

* * * * *

(4).

20. Consulte la figura del cuadro 19. Mientras el electrón se encuentra en la órbita permitida con radio R_1, (emite/no emite) radiación electromagnética. Mientras el electrón se encuentra en la órbita permitida con radio R_2, (emite/no emite) radiación electromagnética. Para que el electrón se mueva de la órbita permitida con radio R_1

a la órbita con radio R_2, el átomo debe (emitir/absorber) energía. Cuando el electrón pasa de la órbita permitida con radio R_2 a la permitida con radio R_1, [(1) no se emite o se absorbe energía/(2) se emite un fotón/(3) se absorbe energía].

* * * * *

no emite; no emite; absorbe; (2).

21. La cuestión que aparece de inmediato con respecto a las hipótesis de Bohr es cómo se puede mover el electrón de una órbita permitida a otra en un tiempo finito (el promedio es aproximadamente 10^{-9} seg) sin pasar a través de estados intermedios de energía y emitiendo un espectro continuo en el proceso. Sabemos que el electrón *no* pasa a través de una serie de órbitas intermedias (es decir, *no* recorre una espiral) debido a que la radiación emitida durante uno de estos cambios es (continua/cuantizada) de acuerdo con la naturaleza de la serie espectral observada.

* * * * *

cuantizada.

22. Los físicos a veces describen este cambio de un electrón de una órbita permitida a otra como un "salto cuántico" indicando que la transición de un estado de energía a otro (es/no es) continuo.

* * * * *

no es.

23. Una forma en la que describimos el cambio (repentino/suave) de un electrón de una órbita permitida a otra es llamándolo un _____.

* * * * *

repentino; salto cuántico.

24. Aplicada al electrón como una partícula, esta noción de salto cuántico *sin* una transición suave a través de órbitas intermedias en una espiral es difícil de comprender. Por regla general, las partículas no parecen actuar en esta forma, y no existe razón en la mecánica de partículas para que un electrón salte a una nueva órbita. En nuestro estudio anterior (por ejemplo, la interferencia y la difracción de la luz), hemos encontrado que el aspecto corpuscular de la materia no explica ciertas observaciones, puede emplearse el

aspecto_____de la materia para explicar estas mismas observaciones

* * * * *

ondulatorio.

25. Los electrones (tienen/no tienen) ondas asociadas.

* * * * *

tienen.

26. Consideremos las características ondulatorias de un electrón en un átomo de hidrógeno. Consulte el panel 11. La figura 1 es un diagrama que representa a ondas que se están moviendo de izquierda a derecha en un medio *no limitado* (por ejemplo, sobre una cuerda indefinidamente larga). Representa una onda que (se desplaza/está estacionaria).

* * * * *

se desplaza.

27. Panel 11, figura 1. Cuando el medio dentro del cual se está moviendo una onda *no está limitado,* pueden desplazarse a través de él ondas de cualquier longitud. Las longitudes de las ondas en este medio (están/no están) cuantizadas.

* * * * *

no están.

28. El movimiento de un electrón en un átomo está confinado a una entre una serie de órbitas permitidas y es, por tanto (limitado/no limitado). (Es probable/no es probable) que las características de la onda asociada con un electrón en el átomo de hidrógeno sean las mismas que las de la onda en la figura 1.

* * * * *

limitado; no es probable.

29. Panel 11. El pedazo de cuerda en la figura 2 está suspendido entre dos soportes fijos. Su longitud es L. Esto constituye un medio (limitado/no limitado).

* * * * *

limitado.

30. Panel 11. Las ondas ilustradas en las figuras 3, 4 y 5 son ondas (que se desplazan/estacionarias) en el medio de la figura 2. Estas ondas son del tipo que puede mantenerse dentro de un medio (no limitado/limitado).

* * * * *

estacionarias; limitado.

31. Panel 11. En las figuras 3, 4 y 5, supongamos que las dimensiones del medio se acortan de repente en una cantidad al azar. [(1) Las ondas estacionarias continúan existiendo (2) las ondas estacionarias se debilitan muy rápidamente]. La existencia continuada de ondas estacionarias de una longitud de onda particular (depende de/es independiente de) las dimensiones del medio.

* * * * *

(2); depende de.

32. El electrón que está ligado al átomo de hidrógeno y el cual Bohr supone que puede existir solamente en ciertas órbitas permitidas, tiene asociado a él una onda que se representa mejor como una onda (estacionaria/que se desplaza) que como una onda (estacionaria/que se desplaza).

* * * * *

estacionaria; que se desplaza.

33. Panel 11. Consulte la figura 6 y lea el párrafo descriptivo. Es característico de tales ondas estacionarias que la circunferencia de la órbita (que es la longitud del medio) contiene un *número entero* de longitudes de onda.

Si λ es la longitud de la onda estacionaria asociada con un electrón ligado a una órbita con un radio R, entonces $2\pi R = n$ __, en donde n es (cualquier número/cualquier número entero) (mayor que/menor que) cero.

* * * * *

λ; cualquier número entero; mayor que.

34. $2\pi R = n\,\lambda$. El valor de n se llama *número cuántico principal.* La fracción $\frac{3}{4}$ (puede/no puede) ser un número cuántico principal.

* * * * *

no puede.

35. Cuando un electrón está ligado a un átomo, la onda asociada con él es una onda (que se desplaza/estacionaria). Si la longitud de esta onda es λ, entonces el electrón existe solamente en órbitas cuyo radio R es tal que $2\pi R$ = ___, donde n es un número entero llamado número_____. _____y es mayor que _____.

* * * * *

estacionaria; n λ; cuántico principal; cero.

36. $2\pi R = n\,\lambda$. Supongamos que un electrón pasa de una órbita permitida para la cual $n = 4$ a otra en la cual $n = 3$. El electrón (puede/no puede) existir como onda estacionaria en cualquier órbita entre estas dos. Explique su respuesta.

* * * * *

no puede (no hay números enteros entre 4 y 3. Cualquier órbita entre estas dos órbitas permitidas tendría un radio tal que $2\pi R = n\,\lambda$ en donde n no sería un número entero).

37. $2\pi R = n\,\lambda$. Supongamos que un electrón se mueve de una órbita en la cual su número cuántico principal es 5 a otra donde su número cuántico principal es 2. ¿Existe alguna órbita *entre* estas dos órbitas permitidas en donde el electrón pueda existir como onda estacionaria? (sí/no). Explique.

* * * * *

sí. Puede existir en órbitas para las cuales $n = 3$ ó $n = 4$.

38. Podemos explicar cómo un electrón "salta" de una órbita permitida a otra sin existir en órbitas intermedias si consideramos cualquier electrón que está ligado a un átomo como una (onda que se desplaza/onda estacionaria/partícula).

* * * * *

onda estacionaria.

39. En el capítulo uno vimos que la longitud de la onda asociada con un electrón está dada por la ecuación λ = _____, en términos de la masa m y la velocidad v. Apenas hemos visto que si el electrón está asociado con una onda estacionaria en una órbita de radio R, su longitud de onda λ está relacionada con R por la ecuación_____ = _____, en donde n es cualquier_____ _____.

* * * * *

$\frac{h}{mv}$; $2\pi R = n\lambda$; número entero.

40. (1) $\lambda = \frac{h}{mv}$. (2) $2\pi R = n\,\lambda$. (3) Substituya h/mv por λ en (2), multiplique ambos miembros por mv y divida ambos miembros entre 2π, simplifique, y_____ = _____ .

* * * * *

$$2\pi R = n\left(\frac{h}{mv}\right)$$

$$mvR = \frac{nh}{2\pi}$$

41. $mvR = \frac{nh}{2\pi}$ en donde $n = 1, 2, 3 \ldots$. La cantidad (mvR) recibe el nombre de momento angular orbital del electrón en un átomo. Notemos que existe un mínimo para el momento angular orbital que puede tener un electrón cuando está ligado a un átomo. Este mínimo ocurre cuando el número cuántico principal es —. Como n puede tomar solamente valores enteros, el momento angular orbital de un electrón ligado (está/no está) cuantizado.

* * * * *

1; está.

42. $mvR = \frac{nh}{2\pi}$. Esta es una formulación matemática de lo que constituye una_____permitida en la teoría de_____del átomo de hidrógeno. La cantidad mvR es una propiedad importante de un electrón que está en un átomo y se llama_____
_____.

* * * * *

órbita; Bohr; momento angular orbital (Bohr desarrolló su teoría del átomo de hidrógeno en 1913. De Broglie postuló la ecuación para la longitud de una onda asociada en términos de m y v en 1924. Por tanto, Bohr no desarrolló la ecuación $mvR = nh/2\pi$ como la conocemos aquí. Sino que la supuso como parte de su teoría).

43. Otra suposición de la teoría de Bohr es que un electrón (emite/

no emite) ondas electromagnéticas mientras se encuentra en una órbita especificada por la ecuación _____ = _____.

* * * * *

no emite; $mvR = \frac{nh}{2\pi}$

44. En la teoría de Bohr, un electrón emite un fotón solamente cuando pasa de una órbita permitida a otra órbita con un radio menor. Si E_i es la energía de un electrón en su órbita inicial y E_f es su energía en la órbita final, la energía (hf) del fotón que emite durante la transición es hf = _____.

* * * * *

$E_i - E_f$

45. La tercera suposición de Bohr está, en efecto, tomada de la teoría de Rutherford; a saber, establece que la fuerza que mantiene a un electrón en cualquier órbita es una fuerza electrostática de Coulomb entre cargas puntuales — e entre el electrón y + Ze en el núcleo, donde Z es el número _____ del átomo que se está considerando. La fuerza F sobre un electrón en una órbita con radio R es F = _____, en términos de Z, e y R.

* * * * *

atómico; $k\frac{(-e)(Ze)}{R^2} = -k\frac{Ze^2}{R^2}$ (El signo negativo indica atracción.)

46. Resumimos las tres suposiciones básicas de la teoría de Bohr en la forma siguiente:

(1) Los electrones existen solamente en órbitas permitidas; estas órbitas están especificadas por una ecuación que cuantiza el _____ _____ _____ del electrón.

Esta ecuación es _____ = _____, en donde n es (cualquier número/cualquier número entero) mayor que (uno/cero) y recibe el nombre de número _____ _____. La h en la ecuación es la constante de _____.

(2) Los átomos emiten fotones solamente cuando un electrón pasa de una órbita permitida a otra en la cual tiene (más/menos) energía. Si un electrón al principio de la transición tiene una energía E_i y termina con una energía E_f, entonces el fotón que emite tiene una energía hf = _____

(3) La fuerza que mantiene a un electrón en cualquier órbita es de carácter (eléctrico/gravitacional), y está dada por la ecuación $F =$ _____, en términos de Z, R y e. Z es el_____ _____ _____del átomo que se está considerando y e es la magnitud de la (masa/carga) del electrón.

* * * * *

momento angular orbital; $mvR = n\frac{h}{2\pi}$; cualquier número entero; cero; cuántico principal; Planck; menos; $E_i - E_f$; eléctrico; $-\frac{kZe^2}{R^2}$; número atómico; carga.

Sección 4. El átomo de hidrógeno de Bohr (continuación)

Nota: La prueba de cualquier teoría es su capacidad para explicar los hechos observados, desarrollar leyes conocidas y predecir los resultados de los experimentos. Cuando una teoría no puede hacer esto, debe alterarse o reemplazarse por otra que lo haga. Recordemos que nuestro primer paso, después de formular las suposiciones de la teoría cinética de los gases, fue desarrollar a partir de ellas una ecuación equivalente a la ley del gas ideal. En general, éste será nuestro procedimiento en esta sección respecto a la teoría del átomo de hidrógeno de Bohr. Tenemos algunos datos experimentales con los cuales trabajar; por ejemplo, los hechos de que el radio de un átomo de hidrógeno, en su estado no excitado, mide alrededor de 0.5×10^{-10} m y la fórmula para la serie espectral

$$\frac{1}{f} = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right).$$

1. Consulte el panel 12. Esta es una lista de las suposiciones implícitas en la teoría del átomo de hidrógeno de (Thomson/Rutherford/Bohr). Léalas cuidadosamente y consúltelas conforme se necesite en los cuadros siguientes.

La fuerza que explica la aceleración centrípeta de un electrón en un átomo es de carácter (gravitacional/eléctrico). La suposición (I/II/III) indica cómo está cuantizado el momento angular orbital de un electrón. Esta teoría supone que los electrones (radían/no radían) energía en forma continua. En las ecuaciones dadas en esta lista, Z representa el_____ _____del elemento que se está estudiando, ($h/k/n$) es la constante de Planck y e es [(1) la cons-

tante en la ley de Coulomb para las cargas puntuales/(2) la carga de un electrón/(3) la masa del núcleo].

* * * * *

Bohr; eléctrico; II; no radían; número atómico; h; (2).

2. Consulte el panel 13. Este es un desarrollo detallado de las suposiciones de la teoría de Bohr y un desarrollo de ciertas cantidades importantes asociadas con la estructura del átomo de hidrógeno. Lea los pasos 1 hasta 6 cuidadosamente. La ecuación a la que se llega en (6) es para el [(1) radio del núcleo del hidrógeno/(2) radio del átomo de hidrógeno].

* * * * *

(2).

3. Panel 13, paso 6. Cuando el átomo de hidrógeno está en un estado *no excitado,* su electrón se encuentra en la menor órbita permitida. Esta es la órbita en la cual su momento angular orbital y energía son (mínimos/máximos) y el número cuántico principal es —.

* * * * *

mínimos; 1.

4. Panel 13, paso 6. El valor de Z para un átomo de hidrógeno es —. El valor de n para el átomo de hidrógeno en su estado no excitado (de mínima energía) es (0/1/mayor que 1).

* * * * *

1; 1.

5. El radio del átomo *no excitado* de hidrógeno se ha determinado experimentalmente que es 0.53 Å, equivalente a _____ m Calcule el radio del átomo no excitado de hidrógeno predicho por la teoría de Bohr, dados los datos siguientes:

$h = 6.63 \times 10^{-34}$ joule
$\pi = 3.14$
$k = 9 \times 10^{9}$ N · m²/coulomb²
$e = 1.6 \times 10^{-19}$ coulomb
$m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

* * * * *

0.53×10^{-10}

$$R = \frac{(1)^2(6.63 \times 10^{-34} \text{ joule seg})^2}{4(3.14)^2(9\times10^9 \cdot \text{m}^2/\text{coulomb}^2)(1)(1.6\times10^{-19}\text{coulomb})^2 (9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})}$$
$$= \mathbf{0.53 \times 10^{-10}\ m}$$

6. La teoría del átomo de hidrógeno de Bohr (predice/no predice) el radio observado del átomo no excitado del hidrógeno.

* * * * *

predice.

7. Panel 13. Lea los pasos 7 al 11. La energía total de un electrón en un átomo es la suma de_____ (*complete*). La energía total de un electrón ligado a un átomo es (positiva/negativa/cero). Esto significa que se debe efectuar_____ por fuerzas externas para liberar al electrón del átomo.

* * * * *

sus energías cinética y potencial; negativa; trabajo.

8. Panel 13, paso 11.

$$E = \frac{-2\pi^2k^2Z^2e^4m}{h^2}\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

Esta es una ecuación para la energía (cinética/potencial/total) de un electrón en un átomo de hidrógeno. m representa la masa del (átomo/electrón/núcleo).

* * * * *

total; electrón.

9. Panel 13, paso 11.

$$E = \frac{-2\pi^2k^2Z^2e^4m}{h^2}\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

La energía total del electrón ligado a un átomo es un mínimo cuando el número cuántico principal es $(0/1/\infty)$. Cuanto mayor sea el valor de n substituido en esta ecuación (menor/mayor), es el valor resultante de E.

* * * * *

1; mayor.

10. Panel 13, paso 11. Se dice que un átomo de hidrógeno está (excitado/no excitado) cuando su electrón tiene una energía *mí-*

nima. Los físicos a menudo lo llaman el *estado base.* El electrón en un átomo de hidrógeno (está/no está) en su estado base cuando $n = 1$; (está/no está) en su estado base cuando $n = 3$.

* * * * *

no excitado; está; no está.

11. Panel 13, paso 11.

$$E = \frac{-2\pi^2 k^2 Z^2 e^4 m}{h^2}\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

Se dice que el electrón cuya energía total está descrita en esta ecuación está en su estado_____cuando $n = 1$ y E es un (máximo/mínimo).

* * * * *

base; mínimo.

12. Panel 13, paso 11.

$$E = \frac{-2\pi^2 k^2 Z^2 e^4 m}{h^2}\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

Cuando un electrón salta de un nivel de energía superior a uno de menor energía, E (aumenta/disminuye/permanece constante), n (aumenta/disminuye/permanece constante) y los valores de k, Z, h, e y m (aumentan/disminuyen/permanecen constantes).

* * * * *

disminuye; disminuye; permanecen constantes.

13. Panel 13. Lea los pasos 13 y 14. El valor de n_f es (mayor que/menor que/igual que) el valor de n_i. El valor de $\left[\frac{-2\pi^2 k^2 Z^2 e^4 m}{h^2}\left(\frac{1}{n_f{}^2}\right)\right]$ es (mayor que/menor que/igual que) el valor de $\left[\frac{-2\pi^2 k^2 Z^2 e^4 m}{h^2}\left(\frac{1}{n_i{}^2}\right)\right]$. El valor de $E_i - E_f$ es (positivo/negativo/cero) y el átomo (emite/absorbe/ni emite ni absorbe) energía al dar el salto cuántico.

* * * * *

menor que; menor que; positivo; emite.

14. El electrón en un átomo de hidrógeno emite un fotón siempre

que pasa entre órbitas permitidas de manera que su número cuántico principal (aumenta/disminuye).

* * * * *

disminuye.

15. Panel 13, pasos 13 y 14. Cuando n_f es menor que n_i y el electrón pasa de una órbita para la cual $n = n_i$ a una órbita para la cual $n = n_f$, el átomo emite energía en forma de un_____. La energía emitida es el producto_____.

* * * * *

fotón; hf.

16. Panel 13, paso 14.

$$hf = \frac{2\pi^2 k^2 Z^2 e^4 m}{h^2}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

Resolver esta ecuación para f, y f =_____.

* * * * *

$$\frac{2\pi^2 k^2 Z^2 e^4 m}{h^3}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

17. (1) $f = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$

(2) $f = \frac{2\pi^2 k^2 Z^2 e^4 m}{h^3}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$

La ecuación [(1)/(2)] se desarrolla a partir de las suposiciones que constituyen la teoría de Bohr del átomo de hidrógeno. La ecuación [(1)/(2)] es la fórmula para la serie espectral.

* * * * *

(2); (1).

18. (1) $f = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$

(2) $f = \frac{2\pi^2 k^2 Z^2 e^4 m}{h^3}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$

En (1) y (2), n_f y n_i son números enteros; n_f debe ser igual o mayor que (1/0) y n_i debe ser (mayor que/menor que/igual que)

n_f. Las ecuaciones (1) y (2) son equivalentes entre sí si $R =$ ——— ———————[*que parte de* (2)].

* * * * *

1; mayor que; $\dfrac{2\pi^2k^2Z^2e^4m}{h^3}$

19. Cuando aplicamos la ecuación para la serie espectral a la radiación emitida por átomos de hidrógeno, empleamos $R = 3.29 \times 10^{15}$. Substituya los valores para las literales en $\left(\dfrac{2\pi^2k^2Z^2e^4m}{h^3}\right)$ evalúe numéricamente y compárela con R.

* * * * *

$\sim 3.28 \times 10^{15}$ (Dentro de los límites del error experimental, este valor está en buena concordancia con R).

20. La teoría de Bohr desarrollada matemáticamente en el panel 13 (ha/no ha) permitido desarrollar la fórmula para la serie espectral.

* * * * *

ha.

21. $R = \dfrac{n^2h^2}{4\pi^2kZe^2m}$ El radio de la órbita de un electrón en un átomo de hidrógeno de Bohr es (directamente/inversamente) proporcional a la (primera potencia/cuadrado/cubo) de su número cuántico principal.

* * * * *

directamente; cuadrado.

22. $f = R\left(\dfrac{1}{n_f{}^2} - \dfrac{1}{n_i{}^2}\right)$ La región ultravioleta del espectro del hidrógeno (es decir, la serie de Lyman) se calcula de esta ecuación cuando n_f y $n_i = (0, 1, 2, 3, \ldots/1, 2, 3, 4, \ldots/2, 3, 4, 5, \ldots/3, 4, 5, 6, \ldots/4, 5, 6, 7,)\ldots$

* * * * *

1; 2, 3, 4, 5, ...

23. La primera línea en la serie de Lyman se produce cuando un electrón salta de una órbita con un número cuántico — a otra con un número cuántico —.

* * * * *

2; 1.

24. El espectro visible del hidrógeno (serie de Balmer) se calcula a partir de la fórmula para la serie espectral cuando n_f = — y n_i = —, —, —, —, ...

* * * * *

2; 3, 4, 5, 6, ...

25. La primera línea en el espectro visible del hidrógeno se produce cuando su electrón salta de una órbita con un número cuántico principal — a otra con un número cuántico principal —.

* * * * *

3; 2.

26. La región infrarroja del espectro del hidrógeno (la serie de _____) se calcula a partir de la fórmula para la serie espectral cuando n_f = — y n_i = —, —, —, —, ... La segunda línea en esta serie se produce cuando el electrón salta de la órbita con un número cuántico principal — a la órbita con el número cuántico principal —.

* * * * *

Paschen; 3; 4, 5, 6, 7, . . . ; 5; 3.

27. Consulte el panel 14. La figura 1 es un dibujo que resume cómo la teoría de Bohr del átomo de hidrógeno explica la producción de las líneas brillantes en el espectro del hidrógeno. Los saltos cuánticos que producen fotones para la serie de Lyman todos terminan en una órbita para la cual n = —. Los saltos cuánticos que producen fotones para la serie de Paschen todos terminan en la órbita para la cual n = —.

* * * * *

1; 3.

28. Panel 14, figura 1. Describa los saltos cuánticos que producen los fotones del espectro *visible* del hidrógeno.

* * * * *

Todos terminan en la órbita para la cual $n = 2$; es decir, los saltos que producen la serie de Balmer.

29. (1) $R = \dfrac{n^2h^2}{4\pi^2kZe^2m}$

(2) $E = \dfrac{-2\pi^2k^2Z^2e^4m}{h^2}\left(\dfrac{1}{n^2}\right)$ R y E dependen del valor de n.

Cada una de estas ecuaciones representa una forma de describir la estructura del átomo de hidrógeno en términos del_____ _____ _____de su electrón. Cuando estamos interesados en la energía o la frecuencia del fotón emitido por un átomo de hidrógeno, la ecuación [(1)/(2)] es la más útil.

* * * * *

número cuántico principal; (2).

30. (1) $E = -\dfrac{2\pi^2 k^2 Z^2 e^4 m}{h^2}\left(\dfrac{1}{n^2}\right)$

(2) La substitución de los valores para π, k, e, m y h nos da $E = -2.18 \times 10^{-18}\dfrac{Z^2}{n^2}$ joules.

(3) Como 1 joule = 6.25×10^{18} ev, (2) puede escribirse como $E =$_____ev.

* * * * *

$-13.6\dfrac{Z^2}{n^2}$

31. $E = -13.6\dfrac{Z^2}{n^2}$ ev. Para el átomo de hidrógeno, Z = —.

En su estado base, el electrón de un átomo de hidrógeno tiene $n =$ —. La energía de un electrón en el estado base es_____ev.

* * * * *

1; 1; 13.6.

32. Panel 14. Consulte la figura 2. Esta descripción gráfica de los niveles de energía en el átomo de hidrógeno se encuentra que es una descripción más útil que el dibujo en la figura 1. Este diagrama de los niveles de energía no proporciona (los radios/las energías/los números cuánticos) de las órbitas permitidas.

* * * * *

los radios.

33. Panel 14, figura 2. Este diagrama muestra que la energía mínima del electrón en el átomo de hidrógeno es_____ ev. Hemos visto que $E = -13.6\dfrac{Z^2}{n^2}$ ev. Cuando el número cuántico principal es 2 para la órbita del electrón, la energía del electrón es — ev.

* * * * *

—13.6; Del Diagrama, para $n = 2$, $E = -3.39$ ev. o de la ecuación, $E = \frac{-13.6(1)}{2^2} = 3.4$ ev.

34. Panel 14, figura 2. Este diagrama nos permite calcular la energía del fotón emitido cuando un electrón salta de un nivel a otro. Supongamos que $n_f = 1$ y $n_i = 2$; entonces $E_f =$_____ev y $E_i =$ _____ ev. La energía del fotón permitido es_____ _____ ev. Los fotones de esta energía producen líneas en la serie de_____.

* * * * *

—13.6; —3.39;

$hf = E_i - E_f = (-3.39) - (-13.6)$

$= 10.2$

Lyman

35. Panel 14, figura 2. Calcule la energía del fotón emitido cuando un electrón pasa de una órbita con un número cuántico principal 5 a otra con un número cuántico principal 3. Este fotón tiene una frecuencia en la región (visible/infrarroja/ultravioleta) del espectro electromagnético.

* * * * *

$E_f = -1.51$ ev

$E_i = -0.54$ ev

$E_i - E_f = (-0.54 \text{ ev}) - (-1.51 \text{ ev})$

$= 0.97$ ev

infrarroja, debido a que el fotón produce una línea en la serie de Paschen.

36. Panel 14, figura 2. En el diagrama de los niveles de energía la longitud de la flecha vertical es una medida de la energía emitida en el salto que representa. Los fotones con la máxima energía son aquellos que producen las líneas en la serie_____, es decir, en la región_____del espectro.

* * * * *

Lyman; ultravioleta.

37. El éxito de la teoría de Bohr para obtener la ecuación de la serie espectral condujo a los físicos a buscar otras series en el espectro del átomo de hidrógeno. En 1922, se descubrió una nueva serie, la

cual se producía cuando el electrón pasaba de una órbita con $n = 4$ de órbitas en las cuales $n = 5, 6, 7, \ldots$. Esto se indica en el panel 14, figura 2, como la serie de_____. Los fotones que producen las líneas en esta serie tienen frecuencias en la región (ultravioleta/visible/infrarroja) del espectro.

* * * * *

Brackett; infrarroja (notemos que la longitud de las flechas para esta serie es más corta que para las de la serie de Paschen, la cual se encuentra en el infrarrojo; por tanto, la serie de Brackett no puede estar en las regiones visible o ultravioleta del espectro).

38. La derivación de la ecuación de la serie espectral a partir de la teoría de Bohr no pone un límite a los valores de n_f y n_i excepto que sean números_____y que n_i sea (mayor que/menor que/igual que) n_f. Es (posible/imposible) que una serie espectral exista con $n_f = 5$ y $n_i = 6, 7, 8, \ldots$.

* * * * *

enteros; mayor que; posible.

39. Una serie espectral del tipo descrito en el último cuadro fue localizada por Pfund en 1924. *No* aparece en la figura 2 del panel 14, pero debe poder compararla con las series mostradas aquí. Los fotones que producen las líneas en la serie de Pfund tienen (más/menos) energía que las de la serie de Brackett.

* * * * *

menos.

40. Las series de Paschen, Brackett y Pfund se encuentran todas en la región (ultravioleta/visible/infrarroja) del espectro. La frecuencia máxima en la serie de Paschen es (mayor que/menor que/igual a) la frecuencia máxima en las series de Brackett o Pfund.

* * * * *

infrarroja; mayor que.

41. Hemos mencionado cinco de las series espectrales del hidrógeno. (todas/algunas/ninguna) pueden localizarse por medio de la ecuación para la serie espectral obtenida de la teoría de Bohr.

* * * * *

Todas.

42. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) El valor de Z es el número cuántico principal de un electrón en un átomo de hidrógeno.
(2) El número cuántico principal de un electrón en su estado base es cero.
(3) La energía mínima de un electrón en un átomo de hidrógeno es —13.6 ev.
(4) La energía máxima de un electrón en un átomo de hidrógeno es —13.6 ev.
(5) El radio del átomo de hidrógeno en su estado base es aproximadamente 10^{-14} metros o 10^{-4} Å.
(6) Se dice que un átomo de hidrógeno en su estado base no está excitado.
(7) La energía total de un electrón en un átomo es su energía potencial eléctrica.
(8) La energía total de un electrón ligado a un átomo siempre es positiva.

* * * * *

(3); (6).

43. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) La serie de Balmer se encuentra en la región ultravioleta del espectro electromagnético.
(2) Las líneas en la serie de Balmer son producidas por los fotones emitidos cuando el electrón en un átomo de hidrógeno salta a la órbita con un número cuántico principal 2 de órbitas con números cuánticos mayores.
(3) La serie de Pfund no está predicha por la teoría del átomo de Bohr.
(4) La energía total de un electrón en un átomo aumenta conforme aumenta el número cuántico principal de su órbita.
(5) Las series de Paschen, Brackett y Pfund se encuentran todas en la región infrarroja del espectro.
(6) El producto (mvR) es la energía total de un electrón en un átomo de hidrógeno.
(7) El momento angular orbital de un electrón en un átomo está cuantizado.

* * * * *

(2); (4); (5); (7).

44. *Repaso.* La energía total de un electrón en un átomo de hidrógeno (está/no está) cuantizada. Es (posible/imposible) que un átomo de hidrógeno emita un fotón con una energía de 8 ev. Explique.

* * * * *

está; imposible. En la figura 2 del panel 14, si un electrón pasa de $n = 2$ a $n = 1$ el átomo emite un fotón de 10.2 ev. Si pasa de $n = \infty$ a $n = 2$, el átomo emite 3.39 ev. No pasa nada en medio.

45. *Repaso.* Cuando el electrón del hidrógeno se encuentra en su estado base, su energía es_____ev. La energía mínima emitida por un electrón en un átomo de hidrógeno cuando pasa a una órbita con un número cuántico principa 1 es_____ev. La energía mínima de un fotón que produce una línea en la serie de Balmer es_____ ev. (Utilice la figura 2 del panel 14.)

* * * * *

—13.6.
Transición de $n = 2$ a $n = 1$:
$hf = E_i - E_f = (-3.39) - (-13.6) =$ **10.2 ev**
Transición de $n = 3$ a $n = 2$:
$hf = E_i - E_f = (-1.51) - (-3.39) =$ **1.88 ev**

46. *Repaso.* ¿Cuáles de los siguientes hechos son predichos o derivados pero no supuestos por la teoría de Bohr para el átomo de hidrógeno? Consulte los paneles 12, 13 y 14 cuando sea necesario.
(1) La carga nuclear del átomo de hidrógeno es + 1.
(2) El momento angular orbital de un electrón en el átomo de hidrógeno está cuantizado.
(3) El radio del átomo de hidrógeno en su estado base es 0.53 Å.
(4) La fórmula de la serie espectral.
(5) Un electrón no emite radiación mientras se encuentra en una órbita permitida.
(6) La fuerza que mantiene al electrón dentro del átomo es electrostática.
(7) La serie de Brackett de las líneas espectrales.

* * * * *

(3); (4); (7).

Sección 5. Absorción de energía y ionización

1. Un átomo de hidrógeno no excitado es aquél cuyo electrón se encuentra en su estado _____; esto significa que el electrón se encuentra en una órbita con un número cuántico principal —. Mientras se encuentra en esta órbita (puede/no puede) emitir radiación electromagnética, y (puede/no puede) pasar a una órbita con un número cuántico menor.

* * * * *

base; 1; no puede; no puede.

2. Si el electrón de un átomo de hidrógeno no pudiera salir de su estado base, nunca podría emitir radiación electromagnética. El hecho de que exista un espectro para el hidrógeno significa que el átomo de hidrógeno (puede/no puede) ser excitado a niveles superiores de energía.

* * * * *

puede.

3. Un átomo de hidrógeno puede *excitarse* cuando su electrón absorbe energía. Existen varios mecanismos por medio de los cuales se puede llevar a cabo esto. Un método común se indica en la figura 1 del panel 15. En un tubo de descarga eléctrica los electrones (libres/ligados) se aceleran a grandes velocidades a través del vacío entre los electrodos, los cuales se mantienen a un alto voltaje. Ocasionalmente uno de estos electrones choca con un electrón ligado a un átomo de hidrógeno y lo saca de su estado base a una órbita con un número cuántico principal superior. Cuando esto ocurre, el electrón tiene una energía (superior/inferior) a la que tenía en el estado base. El electrón ha (emitido/absorbido) energía y se dice que está (excitado/no excitado).

* * * * *

libre; superior; absorbido; excitado.

4. Una vez que un electrón ha absorbido suficiente energía para ocupar una órbita superior permitida, puede (emitir/absorber) energía llevando a cabo saltos cuánticos, regresando a órbitas que tienen números cuánticos menores. Esto ocurre usualmente en aproximadamente 10^{-9} segundos, es decir, bastante (rápidamente/lentamente).

* * * * *

emite; rápidamente.

5. Cuando el hidrógeno es calentado a temperaturas altas, se vuelve luminoso y se le observa brillar. El aumento en la temperatura significa un aumento en las energías _____ de las moléculas del gas. El brillo indica que algunas colisiones entre las moléculas son suficientemente fuertes de modo que sacan a los electrones de los átomos de hidrógeno de sus estados base. Cuando esto ocurre, los electrones (absorben/emiten) energía. Un electrón excitado en esta forma regresa a su estado base en aproximadamente ($1/10^2/10^{-9}$) segundos. Conforme regresa (absorbe/emite) energía, lo cual es la razón de que el gas brille.

* * * * *

cinéticas; absorben; 10^{-9}; emite

6. El átomo de hidrógeno emite radiación electromagnética [(1) todo el tiempo que se encuentre en un estado excitado/(2) mientras está absorbiendo energía/(3) sólo cuando su electrón salta de niveles de energía superiores a niveles de energía inferiores].

* * * * *

(3).

7. Las condiciones cuánticas que requieren que un electrón en un átomo emita solamente fotones con ciertas cantidades de energía y solamente con ciertas frecuencias de la radiación electromagnética se aplican también al proceso de absorción. Consulte el panel 15, figura 2. Cuando el electrón de un átomo de hidrógeno se encuentra en su estado base su energía es $E = -13.60$ ev. En el primer estado *excitado* arriba del de estado base, el electrón tiene una energía $E = -3.40$ ev. Para alcanzar este primer nivel de "excitación" el electrón debe absorber _____ ev de energía, por ejemplo, de un electrón libre en un tubo de descarga.

Supongamos que un electrón libre se lleva a un estado de una energía de 5 ev dentro de un tubo de descarga y que choca con un electrón que se encuentra en el estado base de un átomo de hidrógeno. [(1) El electrón libre rebotará con sus 5 ev de energía intacta/(2) el electrón ligado absorberá estos 5 ev y ocupará un nivel superior de energía].

* * * * *

$E_i - E_f = -13.60$ ev $-$ (-3.40 ev)
$= -10.20$ ev (El signo *negativo* indica que se *absorbe* energía en la transición.)

(1) (5 ev *no* es suficiente para elevar al electrón a su siguiente nivel permitido).

8. Panel 15, figura 2. Si un electrón libre dentro de un tubo de descarga es acelerado hasta que tiene una energía de 10.20 ev, puede transferir (toda/alguna/ninguna) de esta energía a un electrón del átomo de hidrógeno que se encuentra en el estado base. Un electrón libre con una energía de 11 ev puede transferir (toda/alguna/ninguna) de esta energía a un electrón de un átomo de hidrógeno que se encuentra en el estado base. Un electrón libre con una energía de 9 ev puede transferir (toda/alguna/ninguna) de esta energía a un electrón que se encuentra en el estado base del hidrógeno.

* * * * *

toda (10.20 ev es apenas suficiente para que pase del nivel $n = 1$ al nivel $n = 2$); alguna (11 ev es suficiente para que pase al nivel de energía con $n = 2$ pero no es suficiente para que pase al nivel $n = 3$, el cual requiere 12.09 ev); ninguna.

9. Panel 15, figura 2. Este es un diagrama de los niveles de energía para el átomo de hidrógeno. La flecha de la izquierda representa la energía absorbida en una posible interacción entre un electrón libre en un tubo de descarga y un átomo de hidrógeno en su estado base. Para producir este grado de excitación el electrón libre debe transferir un mínimo de_____ev al electrón del átomo.

* * * * *

El electrón del átomo pasa de $n = 1$ a $n = 5$, de manera que $E_i - E_f$ = (—13.60 ev) —(—0.54) = —13.06 ev. El electrón libre debe dar y el electrón ligado debe absorber **13.06 ev.**

10. Panel 15, figura 2. Después de que este átomo de hidrógeno absorbe 13.60 ev de energía, su electrón se encuentra en un nivel de energía donde el número cuántico principal es —. El electrón se encuentra en este nivel (indefinidamente/durante un tiempo muy breve).

* * * * *

5; durante un tiempo muy breve.

11. Panel 15, figura 2. Después de aproximadamente 10^{-9} segundos, el electrón excitado comienza a regresar a su estado base. La existencia de la serie espectral de líneas brillantes para el hidrógeno

demuestra que el regreso puede llevarse a cabo en (solamente una forma/muchas formas diferentes).

* * * * *

muchas formas diferentes.

12. Panel 15, figura 2. Si el electrón excitado regresa a su estado base de un solo salto, emite un fotón con una energía de _____ ev que puede producir una línea brillante en la serie de _____. (Consulte el panel 14, figura 2.)

* * * * *

13.06; Lyman.

13. Panel 15, figura 2. El electrón excitado podría regresar a su estado base en dos pasos. En este diagrama particular de los niveles de energía, tal regreso está representado por la forma (*a*/*b*/*c*) del diagrama. El primer paso es del nivel n = — al nivel n = — y la energía emitida es _____ ev.

* * * * *

b; 5; 2;
$E_i - E_f$ = (—0.54 ev) — (—3.40 ev)
= **2.86 ev**

14. Panel 15, figura 2. El primer paso en este regreso de dos partes del electrón a su estado base puede observarse como una línea brillante en la serie de _____, la cual (es/no es) visible. (Consulte el panel 14, figura 2.) El segundo paso produce una línea brillante en el espectro (visible/infrarrojo/ultravioleta).

* * * * *

Balmer; es; ultravioleta.

15. Panel 15, figura 2. Otro regreso de dos pasos de n = 5 a n = 1 podría ser de 5 a 4, después de 4 a 1. ¿Produciría este modo de regreso las mismas líneas en la serie espectral que el modo *b* en este diagrama de niveles de energía? (Sí/No) Explique.

* * * * *

¡No! Las energías de los fotones emitidos serían diferentes y las líneas brillantes producidas tendrían diferentes frecuencias a las producidas por el modo de regreso de 5 a 2, después de 2 a 1.

16. Panel 15, figura 2. El modo *c* consiste de un regreso de (dos/tres/cuatro) pasos del estado excitado al estado base. Cuando toma el primero de estos pasos el electrón emite_____ev de energía, la cual producirá una línea en la región (visible/infrarroja) del espectro.

* * * * *

tres
el primer paso es de $n = 5$ a $n = 4$, de manera que
$E_i - E_f = (-0.54 \text{ ev}) - (-0.85 \text{ ev})$
$= \mathbf{0.31 \text{ ev}}$
infrarroja.

17. Panel 15, figura 2. El segundo paso en *c* produce un fotón con una energía de_____ev y una línea brillante en la región (visible/ultravioleta/infrarroja) del espectro. El tercer paso en *c* produce un fotón con_____ev de energía y una línea brillante en la región (visible/ultravioleta/infrarroja) del espectro.

* * * * *

$E_i - E_f = (-0.85 \text{ ev}) - (-3.40 \text{ ev}) = \mathbf{2.55 \text{ ev}}$
visible
$E_i - E_f = (-3.40 \text{ ev}) - (-13.60 \text{ ev}) = \mathbf{10.20 \text{ ev}}$
ultravioleta.

18. Panel 15, figura 2. Otro modo de regreso con tres pasos para llegar al estado base podría ser de 5 a 3, después de 3 a 2 y finalmente de 2 a 1. En cada paso el electrón debe perder una cantidad de energía (igual a/menor que/mayor que) la diferencia en los niveles de energía implicados; el mecanismo de esta pérdida es la (absorción/emisión) de un_____.

* * * * *

igual a; emisión; fotón.

19. Panel 15, figura 2. La energía total de un electrón en un átomo de hidrógeno es la suma de su energía cinética y su energía potencial. Mientras *n* sea algún número positivo *finito*, la energía total del electrón es (positiva/negativa).

* * * * *

negativa.

20. Panel 15, figura 2. Cuando el electrón está *ligado* al átomo de hidrógeno, su número cuántico principal es (finito/infinito) y su energía es negativa. La energía negativa indica que se necesita _____ para liberar un electrón ligado.

* * * * *

finito; trabajo.

21. Panel 15, figura 2. Un electrón deja de estar ligado a su átomo de hidrógeno en el punto en donde su energía es cero. En este punto su número cuántico principal es (finito/infinito). El trabajo necesario para liberar un electrón en el estado base de un átomo de hidrógeno es_____ev.

* * * * *

infinito; 13.60 ev.

22. Panel 15, figura 2. Supongamos que el electrón de un átomo de hidrógeno tiene una energía de — 0.85 ev. Este electrón se encuentra en un estado (excitado/no excitado). Debe absorber _____ ev de energía para liberarse del átomo.

* * * * *

excitado; 0.85.

23. Panel 15, figura 2. Supongamos que un electrón en el estado base del hidrógeno absorbe 15 ev de energía en una interacción con un electrón libre dentro de un tubo de descarga. Como resultado de la interacción, el electrón se encuentra [(1) aún ligado al átomo pero en un estado excitado/(2) libre del átomo] y tiene una energía de _____ ev.

* * * * *

(2).
13.60 ev es suficiente para liberar al electrón. Después de que está libre, tiene 15 — 13.6 = 1.4 ev de energía cinética.

24. Panel 15, figura 2. Supongamos que un electrón en el estado $n = 2$ de un átomo de hidrógeno absorbe 3.40 ev de energía. Como un resultado (está/no está) libre del átomo y tiene una energía de_____ev.

* * * * *

está; cero (Cuando el electrón absorbe 3.40 ev, su energía se vuelve cero).

25. Cuando un átomo de hidrógeno absorbe suficiente energía para dar a su electrón una energía mayor o igual a cero, se convierte en un ion hidrógeno. Esto significa que su electrón (está/no está) libre del átomo.

* * * * *

está.

26. Un átomo de hidrógeno que absorbe suficiente energía para liberar su electrón se convierte en _____. Esto significa que tiene una carga neta (positiva/negativa).

* * * * *

ion; positiva.

27. La energía mínima necesaria para liberar un electrón desde el estado base de un átomo de hidrógeno se llama la energía de ionización del átomo. Esto es_____ev. Esta es la energía necesaria para cambiar el átomo de hidrógeno a un_____.

* * * * *

13.6; ion.

28. El trabajo mínimo que es necesario para liberar un electrón que inicialmente se encuentra en el estado base de un átomo de hidrógeno recibe el nombre de energía_____del átomo. Si este electrón absorbe más de esta energía, entonces (está/no está) libre y tiene una energía (mayor que/menor que/igual a) cero. Si este electrón absorbe menos que esta energía, entonces (está/no está) libre y tiene una energía (mayor que/menor que/igual a) cero. Si absorbe exactamente esta energía, entonces (es/no es) libre y tiene una energía (mayor que/menor que/igual a) cero.

* * * * *

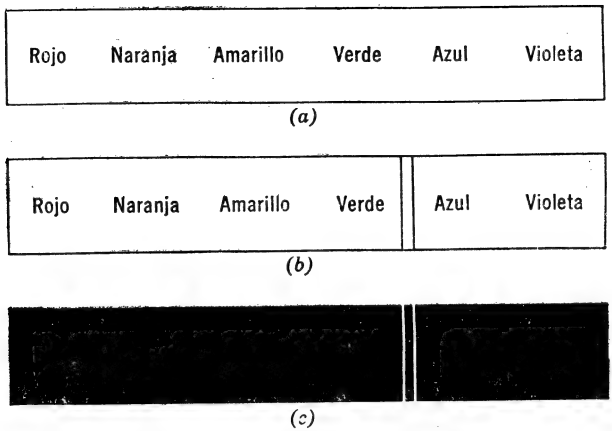
ionización; es; mayor que; no es; menor que; es; igual a.

29. La energía de un electrón libre (siempre/algunas veces/nunca) es mayor que cero. La energía de un electrón ligado a un átomo (siempre/algunas veces/nunca) es mayor que cero.

* * * * *

algunas veces; nunca.

30.



Cuando la luz de un sólido incandescente se hace pasar a través de un gas *no luminoso* y después a través de una rejilla de difracción, el espectro resultante consiste algunas veces en líneas *obscuras* dentro de un continuo de color y recibe el nombre de espectro de líneas obscuras o de *absorción*. La figura [(*a*)/(*b*)/(*c*)] es un espectro de líneas brillantes; la figura [(*a*)/(*b*)/(*c*)] es un espectro de absorción.

* * * * *

(*c*); (*b*).

31. Consulte las figuras del cuadro 30. La luz blanca que entra al gas no luminoso ordinariamente produciría un espectro (de líneas brillantes/continuo). Las líneas obscuras en el espectro de absorción representan frecuencias que son (absorbidas/emitidas) por el gas no luminoso.

* * * * *

continuo; absorbidas.

32. La luz blanca consiste en fotones [(1) todos los cuales tienen la misma energía/(2) con diferentes energías]. (Todos/algunos) de ellos son absorbidos por un gas no luminoso el cual produce un espectro de líneas obscuras.

* * * * *

(2); algunos.

33. Puede demostrarse que los fotones absorbidos por un gas no luminoso siempre son aquellos que pueden ser emitidos por el gas

cuando está en estado luminoso o incandescente. Esto sugiere que la energía de los fotones absorbidos se emplea para_____a los electrones en los átomos del gas a niveles superiores de energía.

* * * * *

excitar.

34. Hemos visto que los electrones de los átomos (absorben/emiten/absorben y emiten) energía solamente en saltos cuánticos. Un gas no luminoso absorbe solamente aquellos fotones de luz blanca incidente, los cuales pueden mover a los electrones dentro de sus átomos de su estado_____a sus estados_____.

* * * * *

absorben y emiten; base (no excitado); excitados.

35. Ninguno de los fotones de la luz *visible* tiene suficiente energía para excitar al electrón en el estado base del hidrógeno al primer estado excitado. Por esta razón, el hidrógeno (absorbe/no absorbe) fotones de luz blanca. La luz blanca que pasa a través de hidrógeno no luminoso y después a través de una rejilla de difracción tiene un espectro (continuo/de líneas brillantes/de líneas obscuras).

* * * * *

no absorbe; continuo.

36. Los fotones de la radiación ultravioleta tienen suficiente energía para excitar a los átomos de hidrógeno de sus estados base. El hidrógeno (absorbe/no absorbe) fotones del ultravioleta continuo y (produce/no produce) un espectro de absorción en la región ultravioleta.

* * * * *

absorbe; produce.

37. Los átomos de ciertas substancias, como el sodio, contienen electrones que pueden ser excitados en sus estados base por la luz visible. El vapor no luminoso de sodio (absorbe/no absorbe) fotones de luz blanca, de manera que la luz que pasa a través de este vapor y, después, a través de una rejilla, tiene un espectro (continuo/de líneas brillantes/de líneas obscuras).

* * * * *

absorbe; de líneas obscuras.

38. Anteriormente en esta sección hemos visto cómo pueden exci-

tarse los electrones de los átomos por interacciones con electrones libres dentro de un tubo de descarga y por colisiones entre las moléculas de un gas calentado. Acabamos de ver ahora que los electrones de los átomos (pueden/no pueden) ser excitados por la absorción de fotones.

* * * * *

pueden.

39. Cuando hay vapor de mercurio dentro de un tubo de descarga a una presión baja y es bombardeado por electrones libres, el "brillo" que resulta se encuentra en su mayor parte dentro de la región ultravioleta del espectro. Tal tubo (es/no es) una fuente eficiente de luz *visible.*

* * * * *

no es.

40. Cuando un tubo de descarga está hecho de cuarzo (que es transparente a la radiación ultravioleta) y se llena con vapor de mercurio a baja presión, se convierte en un buen emisor de radiación (visible/ultravioleta).

* * * * *

ultravioleta (así puede emplearse como esterilizador de aire, lámpara de Sol, etc.).

41. Si a la superficie interna del tubo de descarga descrito en el cuadro 40 se le aplica una capa de un material *fluorescente* el cual absorba la luz ultravioleta, los átomos de este material se excitan. Si regresan a sus estados base en un solo paso, entonces la luz que emiten es (visible/ultravioleta).

* * * * *

ultravioleta.

42. Sin embargo, los materiales *fluorescentes* se escogen precisamente porque no emiten la energía que absorben en un solo paso, sino en varios pasos. Cada uno de estos pasos produce fotones con una energía (mayor que/menor que/igual a) la energía de excitación.

* * * * *

menor que.

43. El material fluorescente que absorbe radiación ultravioleta del vapor del mercurio excitado y la emite como radiación visible, puede seleccionarse. Esto significa que el regreso con pasos múltiples de los átomos del (gas de mercurio/material fluorescente) a sus estados base es tal que la mayoría de los fotones emitidos se encuentran en la región (visible/ultravioleta) del espectro.

material fluorescente; visible.

44. Un material es fluorescente si absorbe radiación a ciertas frecuencias y la vuelve a emitir a frecuencias (superiores/inferiores).

inferiores.

45. Ciertas sales de uranio emiten radiación visible e infrarroja mientras son iluminadas con radiación ultravioleta. Las llamamos materiales_____.

fluorescentes.

46. Cuando un átomo es excitado, suele regresar (lentamente/rápidamente) a su estado base. Generalmente, los átomos (continúan/no continúan) en los estados excitados.

rápidamente (10^{-9} segundos); no continúan.

47. Algunas substancias tienen estados excitados que son *metaestables*, por el hecho de que un electrón permanece excitado durante un tiempo apreciable que va desde unos cuantos segundos hasta varias horas. Se dice que estas substancias son *fosforescentes.*

Algunas lámparas fluorescentes continúan emitiendo una luz muy débil varios segundos después de que la luz se ha apagado. Esto ocurre debido a que algunos átomos del recubrimiento dentro de la lámpara continúan teniendo electrones en un estado (base/metaestable) después de que el vapor de mercurio deja de emitir radiación ultravioleta. Tales lámparas son (fluorescentes solamente/fosforescentes solamente/fluorescentes y fosforescentes).

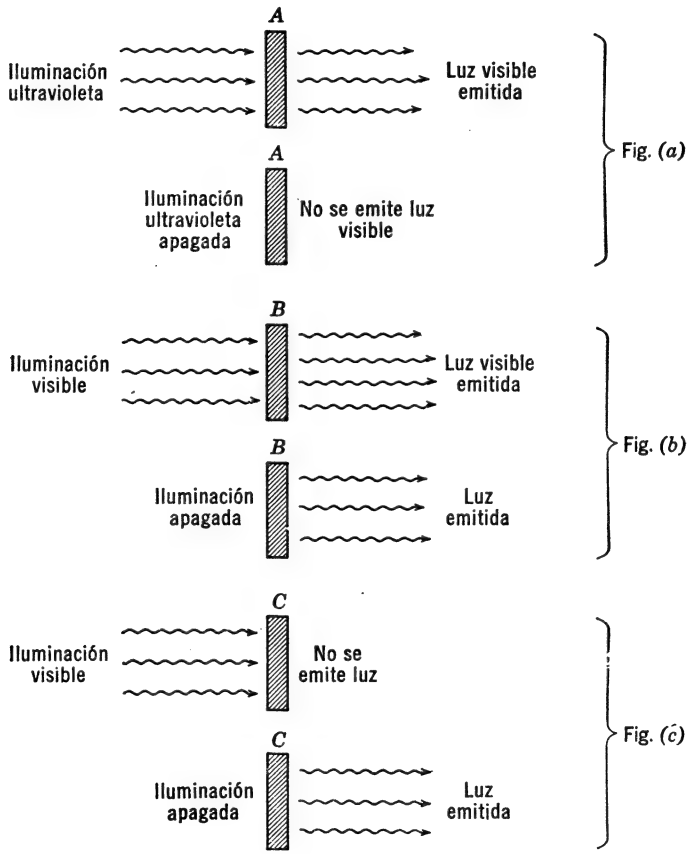
metaestable; fluorescentes y fosforescentes.

48. Un estado metaestable se encuentra en un estado (excitado/no excitado). Un átomo de material fosforescente emite luz [(1) mientras se encuentra en un estado metaestable/(2) solamente conforme regresa a su estado base]. Los materiales fosforescentes emiten luz [(1) solamente mientras existe una fuente externa de excitación/(2) incluso después de que se ha eliminado la excitación externa].

* * * * *

excitado; (2); (2).

49.



Examine estas figuras. La substancia *A* es un material (fluorescente/fosforescente). La substancia *B* es (fluorescente/fosforescente). La substancia C es (fluorescente/fosforescente).

* * * * *

fluorescente; fosforescente; fosforescente.

50. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes afirmaciones son verdaderas?
(1) La energía de un electrón ligado a un átomo es cero.
(2) Los electrones de un átomo emiten energía en saltos cuánticos, pero absorben energía en forma continua.
(3) Un electrón no puede absorber energía cuando se encuentra en un estado excitado.
(4) Cuando el electrón de un átomo de hidrógeno alcanza un nivel de energía en donde $E = 0$, el átomo se convierte en un ion positivo.
(5) La energía necesaria para liberar un electrón de su átomo se llama energía de excitación.
(6) Un átomo no puede emitir energía mientras se encuentra en su estado base.
(7) Un electrón no puede absorber energía mientras está en su estado base.
(8) Un estado metaestable es un estado base.

* * * * *

(4); (6).

51. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes afirmaciones son verdaderas?
(1) El hidrógeno no tiene espectro de absorción.
(2) Los electrones nunca absorben energía de los fotones.
(3) Una substancia que absorbe radiación de frecuencias altas y la vuelve a emitir a frecuencias más bajas se llama fluorescente.
(4) La energía de cualquier electrón ligado es negativa.
(5) El brillo de un gas luminoso se debe a los fotones emitidos cuando los átomos del gas absorben energía y sus electrones se mueven a niveles superiores de energía.
(6) El brillo de un gas luminoso resulta de los fotones emitidos cuando los electrones en los átomos excitados saltan a estados de menor energía.

* * * * *

(3); (4); (6).

52. *Repaso.* El trabajo mínimo que se necesita para liberar un electrón de un átomo cuando se encuentra en su estado base se llama su energía de_____.

* * * * *

ionización.

53. *Repaso.* Panel 15, figura 2. La energía que un electrón en el

estado base del hidrógeno, debe absorber para liberarse del átomo con una energía cinética de 5.4 ev es ——— ev.

* * * * *

13.6 ev + 5.4 ev = 19 ev.

54. *Repaso.* Panel 15, figura 2. Un electrón libre dentro de un tubo de descarga lleno de hidrógeno tiene una energía cinética de 5 ev cuando interactúa con un electrón en el estado base de un átomo de hidrógeno. Su energía cinética después de la interacción es —— ev; la energía del electrón ligado después de la interacción es —— ev.

* * * * *

5 ev (el mínimo necesario son 10.2 ev); —13.6 ev.

Sección 6. Aplicación de la teoría de Bohr para iones semejantes al hidrógeno y átomos de muchos electrones

1. (1) $= \dfrac{-2\pi^2k^2Z^2e^4m}{h^2}\left(\dfrac{1}{n^2}\right)$. Esta es la ecuación para la energía de un electrón ligado a un átomo en una órbita con el número cuántico principal n.

(2) Podemos escribir (1) en la forma

$$E = -\left(\frac{2\pi^2k^2e^4m}{h^2}\right)\frac{Z^2}{n^2}$$

en donde la cantidad dentro del paréntesis es 13.6 si E está expresada en ——————— (*unidades*).

* * * * *

electrón volt (ev).

2. $E = -13.6\,\dfrac{Z^2}{n^2}$ en donde E está expresada en electrón volts. Hasta ahora hemos aplicado esta ecuación solamente a los átomos de hidrógeno, en donde $Z =$ — y el número de electrones es —.

* * * * *

1; 1.

3. El hidrógeno es el único átomo que tiene un solo electrón. Los átomos de todas las demás substancias elementales tienen más de un electrón y pueden llamarse átomos de muchos electrones. El uranio

tiene un número atómico Z = 92, tiene —— electrones y (es/no es) un átomo con muchos electrones.

* * * * *

92; es.

4. Los intentos de aplicar los resultados de la teoría de Bohr a átomos de muchos electrones han demostrado que la energía de tales átomos es mucho más complicada que en el caso del hidrógeno. Esto es razonable debido a que la única fuerza que influye sobre el electrón en el hidrógeno es la fuerza de atracción del_____ del hidrógeno.

Un átomo de helio tiene Z = 2 y, por tanto, dos electrones. Cada electrón es atraído hacia el núcleo pero es repelido por_____ _____(*completar*).

* * * * *

protón (o núcleo); el otro electrón.

5. $E = -13.6 \frac{Z^2}{n^2}$. Si deseamos probar esta ecuación en el helio tendremos que cambiar la población de *electrones* del helio a la del hidrógeno. Podemos hacer esto quitando uno de sus electrones. En breve, podemos probar la teoría de Bohr en un (átomo/ion) de helio.

* * * * *

ion.

6. El símbolo del hidrógeno es H. El símbolo del ion de hidrógeno H^+. El signo (+) indica que ha perdido un_____. El símbolo del helio es He. El símbolo para un átomo ionizado de helio es ———.

* * * * *

electrón; He^+ (Para el He doblemente ionizado es He^{++}).

7. Un átomo de helio contiene — electrón(es). Un ion de He^+ contiene — electrón(es).

La carga del núcleo de un átomo de helio es_____cargas elementales. La carga del núcleo de un ion de helio es_____cargas elementales.

* * * * *

2; 1; +2; +2.

8. $E = -13.6\,\frac{Z^2}{n^2}$. Para un ion H^+ en su estado base, $Z =$ ——
$n =$ ——, y $E =$ _____ ev.

* * * * *

2 ; 1

$$E = -13.6\frac{Z^2}{n^2} = (-13.6)\left(\frac{4}{1}\right)$$
$$= \mathbf{-54.4\ ev}$$

9. La energía mínima que se necesita para liberar un electrón del estado base del He^+ es ——— ev.

* * * * *

54.4 ev.

10. El siguiente elemento, por su tamaño, es el litio (Li). Su número atómico es 3. Un átomo de litio contiene —— electrones. A fin de probar la ecuación de Bohr para la energía en el caso del litio tenemos que alterar su población quitando ——— electrones.

* * * * *

3; 2.

11. Cuando el Li está doblemente ionizado se convierte en un ion Li^{++}. Como el ion Li^{++}. contiene ——— electrón(es) y tiene una carga nuclear de ——— cargas elementales.

* * * * *

1; + 3.

12. $E = -13.6\,\frac{Z^2}{n^2}$. Para el litio doblemente ionizado, Li^{++}, en su estado base, la energía mínima requerida para liberar su electrón restante es ———— ev.

* * * * *

$E = (-13.6)\left(\frac{9}{1}\right) = 122.4$ ev (La energía de ionización es 122.4 ev).

13. Los siguientes dos elementos son el berilio, Be, y el boro, B, con números atómicos 4 y 5, respectivamente. Para aplicar la teoría de Bohr a estos elementos, deben primero quitarse — electrones del

Be para formar el ion ———— y deben quitarse — electrones al B para convertirlo en el ion ————.

* * * * *

3; Be^{+3}; 4; B^{+4}.

14. Calcule las energías de ionización (en ev) para el berilio triplemente ionizado y boro cuádruplemente ionizado.

* * * * *

$$E = -13.6 \frac{Z^2}{n^2}$$

Para Be^{+3} $E = -13.6\left(\frac{4^2}{1}\right) = -217.6$ ev

Energía de ionización para el Be^{+3} es **217.6 ev**

Para Be^{+4}, $E = -13.6\left(\frac{5^2}{1}\right) = -340$ ev

La ionización para B^{+4} es **340 ev**

15. Consulte el panel 16. Esta es una lista de las energías de ionización observadas para el átomo de hidrógeno y iones estructuralmente semejantes. Cada átomo o ion de la lista tiene (diferente/la misma) población de electrones. Cada átomo o ion de la lista tiene (diferente/la misma) carga nuclear.

* * * * *

la misma; diferente.

16. Panel 16. Las energías de ionización observadas para el átomo de hidrógeno y para los iones con la *misma población de electrones* (concuerdan/no concuerdan) con las predichas por la teoría de Bohr.

* * * * *

concuerdan.

17. Los resultados de la teoría del átomo de Bohr pueden aplicarse directamente sólo a las estructuras que tienen la misma ———— ———— que el átomo de hidrógeno. (Pueden/no pueden) aplicarse directamente a los átomos de He, Li, Be y B.

* * * * *

población de electrones; no pueden.

18. La teoría del átomo de Bohr (se aplica/no se aplica) a iones univalentes de elementos diferentes al hidrógeno. (Podemos/no po-

demos) esperar que la teoría de Bohr concuerde con las observaciones experimentales cuando se aplica a átomos de muchos electrones.

* * * * *

se aplica; no podemos.

19. La energía de un electrón en un átomo que contenga muchos electrones depende de las fuerzas de atracción del ———— y de la fuerza de repulsión de ———— (*completar*).

* * * * *

núcleo (es decir, los protones del núcleo); los demás electrones del átomo.

20. Ahora se sabe que *no existen dos electrones de un átomo exactamente con la misma energía.* Se sabe también que el número de electrones que pueden ocupar determinada órbita en un átomo de muchos electrones está limitado estrictamente. Por ejemplo, el número de electrones permitido en la órbita más cercana al núcleo es *dos*; el máximo permitido en la siguiente órbita es *ocho*. Los dos electrones que ocupan la órbita *más interna* de un átomo con muchos electrones (tienen/no tienen) exactamente la misma energía.

* * * * *

no tienen.

21. El hecho de que hemos estado llamando números cuánticos *principales* a los valores de n, indica que existen otros números cuánticos *auxiliares* a éstos. Una aplicación de estos números cuánticos auxiliares es explicar el hecho de que dos electrones del mismo átomo no puedan tener exactamente la misma energía. El número de electrones en un átomo con muchos electrones que pueden existir en la órbita con $n = 1$ es — (*número*). El hecho de que estos electrones tengan (la misma energía/diferentes energías) puede indicarse asignándoles (los mismos números cuánticos auxiliares/diferentes números cuánticos auxiliares).

* * * * *

2; diferentes energías; diferentes números cuánticos auxiliares (estos números cuánticos auxiliares se emplean para describir la naturaleza cuántica de otras características físicas de los electrones de los átomos).

22. El número máximo de electrones en un átomo con muchos elec-

trones los cuales pueden tener $n = 1$ es dos; con $n = 2$ son ocho; con $n = 3$ son 18. Los electrones con el mismo número cuántico principal tienen energías que difieren sólo ligeramente entre sí en comparación a la diferencia entre las energías de dos electrones cuyos números cuánticos principales son diferentes. La diferencia entre las energías de dos cualesquiera de los ocho electrones que tienen $n = 2$ es (mayor que/menor que/igual a) la diferencia entre cualquier electrón con $n = 2$ y otro con $n = 1$.

* * * * *

menor que.

23. En un átomo como el del oro que contiene muchos electrones ($Z = 79$), (todos/algunos/ningunos) de los 18 electrones con número cuántico principal $n = 3$ tienen exactamente la misma energía. La diferencia entre cualquier electrón de un átomo de oro el cual contiene $n = 3$ y cualquier electrón que contiene $n = 2$ es (mayor que/menor que/igual a) la diferencia entre dos electrones cualesquiera para los cuales $n = 2$ o para aquellos que contienen $n = 3$.

* * * * *

ninguno; mayor que.

24. La asignación de números cuánticos auxiliares implica un estudio más detallado de la estructura atómica que el que podemos hacer en este curso. Para las necesidades de este curso, es suficiente recordar que una de las funciones de tales números es indicar que todos los electrones que tienen el mismo número cuántico principal (tienen/no tienen) la misma energía.

* * * * *

no tienen.

25. La diferencia de energías entre dos electrones cualesquiera que tengan el mismo número cuántico principal es probablemente (igual a/mayor que/menor que) la diferencia entre las energías de electrones que tienen el mismo número cuántico principal y diferentes números cuánticos auxiliares.

* * * * *

mayor que.

26. $E = -13.6 \left(\frac{Z^2}{n^2} \right)$. Esta ecuación (se/no se) deriva a partir

de la teoría del átomo de Bohr. (Es/no es) adecuado calcular las diferencias entre las energías de los electrones que tienen el mismo número cuántico principal.

* * * * *

se; no es.

27. La teoría del átomo de Bohr descrita en el panel 12 y desarrollada en el panel 13 (puede/no puede) describir con detalle las energías de los electrones en átomos como el helio, boro, oro, uranio, etc. (Puede/no puede) describir la estructura de iones que tienen poblaciones de electrones como la del átomo de hidrógeno.

* * * * *

no puede; puede.

28. ¿Cuál de las siguientes proposiciones no puede explicar la teoría del átomo de Bohr?

(1) La serie espectral del hidrógeno.
(2) La energía de ionización del átomo de helio.
(3) La energía de ionización del litio doblemente ionizado, $Li^{+\,+}$.
(4) La diferencia de energía entre electrones con el mismo número cuántico principal.
(5) El radio del átomo de hidrógeno en su estado base.
(6) La energía de ionización del hidrógeno.

* * * * *

(2); (4).

29. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) En un átomo que contiene muchos electrones todos los electrones que contengan $n = 3$ tienen exactamente la misma energía.
(2) Cabe esperar que la teoría del átomo de Bohr prediga la serie espectral del helio con todo detalle, como ocurre en el caso de la serie espectral del hidrógeno.
(3) La carga del núcleo de un ion He^{+} es + 1 carga elemental.
(4) La energía de ionización para un ion de $Li^{+\,+}$ es mayor que la energía de ionización para un ion He^{+}.

* * * * *

(4).

Sección 7. La producción de rayos-X

1. Consulte el panel 17. La figura 1 es un dibujo de un tubo al vacío. Los electrodos son un filamento calentado y un blanco. La fuente de alto voltaje mantiene una gran diferencia de potencial (de 20,000 hasta 2.000,000 de volts) entre el filamento y el blanco. El filamento calentado es una fuente abundante de electrones libres que se mueven hacia el blanco cuando es (positivo/negativo) con respecto al filamento.

* * * * *

positivo.

2. Panel 17, figura 1. Supongamos un electrón que parte del reposo en el filamento y que el potencial del blanco con respecto al filamento es de 50,000 volts. Este electrón llega al blanco con una energía cinética de_____ev.

* * * * *

50,000 ev.

3. Panel 17, figura 1. La gran mayoría (alrededor del 99%) de estos electrones pierden su energía en colisiones que aumentan las energías cinéticas de los átomos en la malla cristalina del blanco. Esta energía produce (un aumento/una disminución/ningún cambio) en la temperatura del blanco. Por esta razón, el material que sirve de blanco en este tipo de tubo suele tener un punto de fusión (alto/bajo).

* * * * *

aumento; alto.

4. Panel 17, figura 1. Cuando un electrón libre de alta energía penetra realmente dentro de un átomo en el material que sirve de blanco, su energía probablemente cambiará drásticamente debido a la (carga ampliamente distribuida de los electrones/carga concentrada en el núcleo) del átomo que sirve de blanco.

* * * * *

carga concentrada en el núcleo.

5. Los núcleos de los átomos cuyos números atómicos son (altos/bajos) tienen mayor probabilidad de producir cambios drásticos en

las energías de los electrones libres con una energía alta. El núcleo del átomo de hidrógeno producirá (más/menos) probablemente un cambio considerable en la energía cinética de un electrón con una energía de 50,000 ev que el núcleo de un átomo de oro.

* * * * *

altos; menos.

6. De acuerdo con la teoría clásica, una carga acelerada (o desacelerada) emite radiación electromagnética. Cuando un electrón libre con una energía cinética muy grande se acerca a un núcleo que tenga una carga positiva alta (Z = 70), se desacelera muy rápidamente y (debe/no debe) emitir radiación electromagnética.

* * * * *

debe.

7. Panel 17, figura 1. Cuando los electrones libres son acelerados hasta que tienen energías cinéticas altas (20,000 hasta 2.000,000 ev) y chocan contra el blanco, de este último salen rayos X. Los rayos X (son/no son) parte del espectro electromagnético.

* * * * *

son.

8. La energía de los rayos X, al igual que la energía de toda radiación electromagnética está concentrada en cuantos llamados_____ _____. La energía *máxima* que tiene uno de estos cuantos resulta de una interacción en la cual (toda/alguna/ninguna) de la energía cinética del electrón incidente se pierde.

* * * * *

fotones; toda.

9. *La teoría clásica* sugiere que *no* existe una frecuencia máxima de los rayos X que pueda producir la desaceleración de un electrón de alta energía. *La teoría del fotón* sugiere que existe tal frecuencia máxima y que ésta (depende de/es independiente de) la energía del electrón incidente.

* * * * *

depende.

10. Supongamos que un electrón es acelerado partiendo del reposo por una diferencia de potencial de 25,000 volts. Cuando incide sobre

el blanco tiene una energía cinética de_____joule. Si se produce un rayo X de frecuencia máxima f, tendrá una energía que es igual al producto ——, en términos de f.

* * * * *

$\frac{1}{2}mv^2 = Vq = (25{,}000 \text{ volts})(1.6 \times 10^{-19} \text{ coulombs})$
$= 4.0 \times 10^{-15}$ joule

hf

11. Para una diferencia de potencial de 25,000 volts, la energía cinética de los electrones incidentes es de 4.0×10^{-15} joule. Calcule la frecuencia máxima de los rayos X producidos por la desaceleración de estos electrones.

* * * * *

$hf = 4.0 \times 10^{-15}$ joule

$(6.63 \times 10^{-34} \text{ joule} \cdot \text{seg})f = 4.0 \times 10^{-15}$ joule

$$f = \frac{4.0 \times 10^{-15}}{6.63 \times 10^{-34}} = 6.03 \times 10^{18} \text{ Hz}$$

12. Los rayos X producidos por electrones incidentes con 50,000 ev tienen una frecuencia máxima que es (mayor que/menor que/igual que) la máxima frecuencia de los rayos X producidos por electrones con 25,000 ev.

* * * * *

mayor que.

13. Los rayos X producidos en la forma que apenas describimos se llaman algunas veces radiación *frenante*. Este término describe el hecho de que estos rayos X resultan cuando_____de alta energía son desacelerados (lentamente/rápidamente) en el campo eléctrico del_____de un átomo.

* * * * *

electrones; rápidamente; núcleo.

14. Los rayos X producidos cuando un electrón de alta energía es desacelerado rápidamente cerca del núcleo de un átomo pesado (es decir, que tiene un alto número atómico) son llamados radiación _____. Estos rayos X tienen una frecuencia (máxima/mínima) que depende del potencial empleado para acelerar a los electrones.

* * * * *

frenante; máxima.

15. Cuando los electrones con alta energía pierden la mayor parte o toda su energía en una sola interacción con el núcleo de un átomo pesado se emite radiación electromagnética llamada_____. Cuando la radiación electromagnética de alta energía interactúa con ciertos metales, libera electrones de la superficie del metal. A esto se llama efecto_____.

* * * * *

rayos X (radiación frenante); fotoeléctrico.

16. La producción de rayos X (radiación frenante) y el efecto fotoeléctrico son efectos inversos. En la producción de los rayos X (los electrones libres/los fotones) se emplean para producir (electrones libres/fotones); en el efecto fotoeléctrico, se emplean (electrones libres/fotones) para producir (electrones libres/fotones).

* * * * *

electrones libres; fotones; fotones; electrones libres.

17. Los átomos que contienen muchos electrones los tienen distribuidos en órbitas con un número (limitado/ilimitado) de electrones en cada órbita.

Estas órbitas (o capas) se describen muy fácilmente por medio de sus números cuánticos principales, $n = 1, 2, 3, 4$, etc., pero los espectroscopistas de rayos X y los químicos describen algunas veces las mismas capas en términos de K, L, M, N, etc. La órbita $n = 1$ se llama la capa K; la órbita $n = 2$ se llama la capa_____, etc.

* * * * *

limitada; L.

18. El número máximo de electrones en la capa K es_____. Si uno de éstos es eliminado por alguna razón, un electrón de una capa con un número cuántico superior salta a su lugar, y de acuerdo con Bohr (emite/absorbe) radiación electromagnética en la transición.

* * * * *

dos; emite.

19. Los átomos pesados tienen seis o siete capas pobladas con electrones. Supongamos que un electrón incidente con alta energía *no* sufre una desaceleración rápida, sino que en su lugar saca a un electrón de la capa $n = 4$ o — (letra). Este electrón es reemplazado

rápidamente por otro electrón de una órbita con un número cuántico principal (superior/inferior).

* * * * *

N; superior.

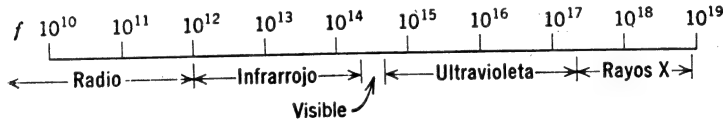
20. Cuando un electrón es sacado de la capa N de un átomo con muchos electrones y uno de ellos salta de otra capa para tomar su lugar, el fotón emitido se encuentra en el espectro visible. Como esta interacción ocurre usualmente debajo de la superficie del metal que sirve de blanco, el fotón suele ser absorbido en su camino hacia afuera del metal y por lo general (se/no se) observa.

Supongamos que un electrón incidente desaloja a un electrón fuera de la capa M. El fotón emitido cuando un electrón salta al lugar desocupado tiene (más/menos) energía que la emitida cuando un lugar desocupado se llena en la capa N. La radiación producida en tal interacción se encuentra en la región (infrarroja/ultravioleta) del espectro.

* * * * *

no se; más; ultravioleta (el fotón tiene más energía que la radiación visible producida cuando un lugar desocupado de la capa N es ocupado).

21.



Esta es parte del espectro electromagnético. Cuando un electrón incidente saca a un electrón de la capa L ($n = 2$) de un átomo pesado, el fotón emitido cuando un electrón salta de otra órbita para llenar el lugar tiene una energía de aproximadamente 2,000 ev. *Transforme esta cifra a joules,* y utilice el resultado para *calcular la frecuencia* de la radiación asociada con este fotón. ¿A qué parte del espectro electromagnético pertenece esta radiación?

* * * * *

$$2000 \text{ ev} = 2000\,(1.6 \times 10^{-19})$$
$$= 3.2 \times 10^{-16} \text{ joule}$$
$$E = hf$$
$$3.2 \times 10^{-16} = (6.63 \times 10^{-34})f$$
$$f = \frac{3.2 \times 10^{-16}}{6.63 \times 10^{-34}} = \mathbf{0.5 \times 10^{18}\ Hz}$$

rayos X.

22. Cuando un electrón es sacado fuera de la capa L, es decir, la órbita para la cual n = —, de un átomo pesado ($Z = 40^+$), un electrón de una órbita con un número cuántico principal (superior/inferior) llena el lugar y, en el proceso, emite radiación en la región (infrarroja/visible/ultravioleta/rayos X) del espectro electromagnético.

* * * * *

2; superior; rayos X.

23. También es posible que un electrón incidente desaloje a un electrón fuera de la órbita más interna de un átomo pesado. Esta es la órbita que tiene un número cuántico principal n = — y recibe el nombre de capa —. Cuando este lugar es ocupado por un electrón de otra capa, la energía emitida es (mayor/menor) que cuando es ocupado un lugar vacío en la capa L del mismo átomo.

* * * * *

1; K; mayor.

24. Podemos obtener una *estimación aproximada* de la energía emitida cuando un lugar desocupado en la capa K de un átomo pesado es ocupado por un electrón de otra capa si empleamos la ecuación de Bohr para determinar la energía de un electrón.

$$E = -13.6\,\frac{Z^2}{n^2} \text{ y } hf = E_i - E_f.$$

Supongamos que el átomo tiene un número atómico $Z = 40$, y que el lugar desocupado en la capa K es ocupado por un electrón que estaba inicialmente en $n = \infty$. La energía inicial E_i del electrón de reemplazo es_____ev. Su energía en la capa K, E_f es_____ev. La energía del fotón emitido es_____ ev.

* * * * *

cero.

$$E_f = -13.6\,\frac{Z^2}{(1)^2} = -13.6\left(\frac{40^2}{1}\right)$$
$$= 21{,}760 \text{ ev}$$
$$hf = E_i - E_f = 0 - (-21760) \text{ ev}$$
$$= 21{,}760 \text{ cv}$$

25. La radiación asociada con un fotón de aproximadamente 20,000 ev es 5×10^{18} Hz. Esta (se encuentra/no se encuentra) en la región de los rayos X del espectro.

El electrón salta en los átomos pesados ($Z = 40^+$) para llenar lugares de la capa K (producen/no producen) rayos X.

* * * * *

se encuentra; producen.

26. Supongamos que empleamos un átomo con $Z = 70$ (en lugar de $Z = 40$) para estimar la energía del fotón emitido cuando un lugar de la capa K del átomo es ocupada con un electrón de $n = \infty$. Aplique las ecuaciones de Bohr para estimar la energía del fotón de rayos X que se ha producido.

* * * * *

$E_i = 0$ ev, ya que $n = \infty$

$$E_f = -13.6\frac{Z^2}{n^2} = -13.6\left(\frac{70^2}{1}\right)$$
$$= -66{,}640 \text{ ev}$$
$$hf = E_i - E_f = 66{,}640 \text{ ev}$$

27. La energía de los fotones de rayos X producidos cuando los electrones incidentes desalojan electrones de las capas K o L de un electrón pesado (aumenta/disminuye/permanece la misma) conforme son bombardeados los átomos con números atómicos más altos.

* * * * *

aumenta.

28. La ecuación de energía de Bohr proporciona solamente una estimación de la energía emitida cuando un electrón ocupa un lugar de la capa K de un átomo pesado porque esta ecuación se aplica exactamente sólo a un átomo de (un solo/muchos) electrón(es) y (toma/no toma) en cuenta la existencia de otro electrón en la capa K.

* * * * *

un solo; no toma.

29. Una ecuación más exacta para calcular la energía emitida cuando un electrón viene desde $n = \infty$ para llenar un lugar vacío en la capa K es $E = 13.6(Z - 1)^2$. Esta es la energía (máxima/mínima) de los rayos X emitidos cuando un electrón incidente [(1) desacelerado rápidamente/(2) desaloja un electrón de la capa K y otro

electrón proveniente de un estado de energía superior llena el lugar desocupado].

* * * * *

máxima; (2).

30. $E = 13.6(Z - 1)^2$. Notemos que la energía máxima emitida en la forma de rayos X cuando los electrones llenan los lugares vacíos en la capa *K* depende del_____del elemento que se está bombardeando. (Suponga que el electrón incidente tiene suficiente energía para producir el lugar vacío). La energía máxima de los rayos X que constituyen la radiación frenante dependen de _____ (*completar*).

* * * * *

número atómico; la energía de los electrones incidentes.

31. Los rayos X que se producen cuando los electrones incidentes desalojan electrones de las dos órbitas más internas de un átomo pesado y estos lugares los ocupan electrones de otras órbitas son llamados los rayos X *característicos*. Esto es debido a que sus energías y frecuencias dependen de los números atómicos de los átomos bombardeados. Los rayos X que llamamos radiación *frenante* (son/no son) rayos X característicos. ¿Por qué?

* * * * *

no son; no dependen del número atómico del átomo que está siendo bombardeado.

32. Consulte la figura 2 del panel 17. Las tres primeras flechas (comenzando desde la izquierda) en este diagrama de niveles de energía representa saltos del electrón desde órbitas con $n = 2, 3, 4$ hasta $n =$ — ; es decir, desde la capa —, —, y —, hasta la capa —. Los rayos X que producen estos saltos (son/no son) rayos X característicos.

* * * * *

1; *L*, *M*, *N*; *K*; son.

33. Panel 17, figura 2. Los fotones de los rayos X representados por las tres primeras flechas son característicos de un elemento con un número atómico de aproximadamente_____. Constituyen parte de la serie *K* de los rayos X para un elemento con este número

atómico, debido a que todos los saltos electrónicos de la serie son (desde/hasta) la capa *K*.

* * * * *

40; hasta.

34. Panel 17, figura 2. La cuarta y quinta flechas representan las energías de los fotones de rayos X producidos cuando electrones de las capas_____y_____saltan a la capa_____para llenar los lugares. Estas energías dependen del número atómico del átomo bombardeado y por eso mismo son llamados rayos X_____.

* * * * *

M, *N*; *L*; característicos.

35. Panel 17, figura 2. Todos los rayos X producidos cuando saltan electrones de las capas *L*, *M*, *N*, etc. para llenar lugares en la capa *K* reciben el nombre de serie_____de los rayos X. Todos los rayos X producidos cuando saltan electrones de las capas *M*, *N*, *O*, etc., para llenar lugares en la capa *L* reciben el nombre de serie_____de los rayos X.

* * * * *

K; *L*.

36. Los rayos X en las series *K* y *L* para cualquier elemento dado (resultan/no resultan) de la radiación frenante. Los rayos X en estas series (son/no son) rayos X característicos. Las energías representadas por las flechas en la figura 2 del panel 17 son (iguales a/menores que/mayores que) las que observaríamos si Z = 70.

* * * * *

no resultan; son; menores que.

37. Panel 17, figura 2. Los rayos X emitidos cuando un lugar vacío de la capa *K* es ocupado por un electrón de la capa *L* recibe el nombre de radiación $K\alpha$ (*K*-alfa). Estos son los rayos X de (máxima/mínima) energía en la serie *K*. La radiación $K\alpha$ de cada elemento (es decir, para cada valor de Z) (es/no es) diferente de la de cualquier otro.

* * * * *

mínima; es.

38. La radiación $K\alpha$ característica de un elemento depende del _____de ese elemento. Si tenemos alguna duda sobre el valor de Z para dos metales diferentes, aquel que emite la radiación $K\alpha$ de (mayor/menor) energía tendrá el mayor valor de Z.

* * * * *

número atómico; mayor.

39. La radiación electromagnética producida cuando electrones de alta energía (20,000 a 2,000,000 ev) bombardean un blanco compuesto de algún elemento pesado consiste en fotones producidos en dos formas diferentes. Cite y describa estas dos formas.

* * * * *

Los rayos X son emitidos como resultado de la desaceleración rápida de algunos electrones incidentes cuando pasan cerca del núcleo del átomo. Esta, recibe el nombre de *radiación frenante.* También se producen rayos X cuando los electrones incidentes desalojan a electrones de las capas *K* o *L* y estos lugares son ocupados por electrones de otras capas. Estos, reciben el nombre de rayos X *característicos.*

Seccción 8. Repaso y problemas

1. Los portadores negativos de carga en un átomo se llaman _____; los portadores de carga positiva reciben el nombre de_____. De acuerdo con la teoría nuclear del átomo las cargas positivas están [(1) distribuidas uniformemente a través del átomo/(2) concentradas en una pequeña parte del átomo].

* * * * *

electrones; protones; (2).

2. La magnitud de la carga eléctrica de un protón es (mucho mayor que/mucho menor que/la misma que) la magnitud de la carga de un electrón. La masa de un electrón es (mucho mayor que/mucho menor que/la misma que) la masa de un protón.

* * * * *

la misma que; mucho menor que.

3. El radio de un átomo es aproximadamente ___ Å; el radio del núcleo de un átomo es aproximadamente_____ Å.

* * * * *

1; 10^{-4} ó 0.0001.

4. Las partículas alfa son partículas (cargadas/no cargadas) con masas (mayores que/menores que/iguales que) las masas de los electrones.

* * * * *

cargadas; mayores que.

5. El número atómico del argón es 18. El número de protones de su núcleo es de ———, cada uno con una carga positiva de un (coulomb/carga elemental).

* * * * *

18; carga elemental.

6. El espectro visible del hidrógeno se llama serie de_____. El espectro ultravioleta del hidrógeno se conoce como serie de_____

* * * * *

Balmer; Lyman.

7. $f = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$ Esta ecuación nos permite calcular las frecuencias de las líneas en el espectro ultravioleta del hidrógeno cuando n_f = —, n_i es un número entero mayor que —, y R = _____.

* * * * *

1; 1; 3.29×10^{15}.

8. La ecuación para las series espectrales puede obtenerse a partir de la teoría del átomo de hidrógeno de_____.

* * * * *

Bohr.

9. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) Las series espectrales del hidrógeno son un espectro de líneas brillantes.

(2) No existe espectro del hidrógeno en la región infrarroja.
(3) El momento angular orbital de un electrón en el átomo de hidrógeno está cuantizado.
(4) La mejor forma de representar el aspecto ondulatorio de un electrón ligado a un átomo es mediante una onda que se desplaza.
(5) La teoría del átomo de Bohr se aplica en forma exacta para los átomos con muchos electrones.

* * * * *

(1); (3).

10. Si la masa de un electrón de un átomo es m, su velocidad orbital es v, y el radio de su órbita es R, el producto mvR es el_____ _____ _____del electrón. De acuerdo con la teoría del átomo de hidrógeno de (Thomson/Bohr/Rutherford), esta cantidad está cuantizada.

* * * * *

momento angular orbital; Bohr.

11. De acuerdo con la teoría de Bohr del átomo de hidrógeno, mvR =_____, donde n es un número_____llamado el número _____del electrón.

* * * * *

$nh/2\pi$; entero; cuántico principal.

12. $R = \dfrac{n^2h^2}{4\pi^2kZe^2m}$. Esta es la ecuación para el radio del (átomo/núcleo/electrón) del hidrógeno obtenida a partir de la teoría del átomo de (Thomson/Bohr/Rutherford). Cuando el átomo se encuentra en su estado base, R es aproximadamente_____metros.

* * * * *

átomo; Bohr; $0.53 \times \mathbf{10^{-10}}$ **metros.**

13. $E = -\dfrac{2\pi^2k^2Z^2e^4m}{h^2}\left(\dfrac{1}{n^2}\right)$ Esta es una ecuación para la energía (cinética/potencial/total) del electrón en un átomo de hidrógeno o para cualquier ion que tenga el mismo número de electrones.

* * * * *

total.

14. $E = -13.6\frac{Z^2}{n^2}$. Cuando $Z = 1$, ésta es una ecuación para la energía del electrón en un (átomo de hidrógeno/ion He^+/ion Li^{++}) medida en (joules/ev).

* * * * *

átomo de hidrógeno; ev.

15. $E = -13.6\frac{Z^2}{n^2}$. Cuando $Z = 2$, ésta es una ecuación para la energía del electrón en un (átomo de hidrógeno/ion He^+/ion L^{++}).

* * * * *

ion He^+.

16. $E = -13.6\frac{Z^2}{n^2}$. Gracias a esta ecuación podemos calcular la energía de un electrón en el estado base del átomo de hidrógeno si substituimos $n = —$ y $Z = —$.

* * * * *

1; 1.

17. El número atómico del berilio es 4. Calcule la energía en electrón volts del electrón en un ion Be^{+3} cuando se encuentra en una órbita con el número cuántico principal 2.

* * * * *

$$E = -13.6\frac{Z^2}{n^2}$$

$$= -13.6\frac{16}{4} = (-13.6)(4)$$

$$= 54.4 \text{ ev}$$

18. Los electrones con el mismo número cuántico principal en un átomo de muchos electrones tienen (la misma energía/diferentes energías).

* * * * *

diferentes energías.

19. La energía mínima que es necesaria para liberar un electrón de un átomo recibe el nombre de energía de_____. La

energía de un electrón ligado a un átomo siempre es (positiva/negativa).

* * * * *

ionización; negativa.

20. Calcule la energía mínima que se necesita para liberar el electrón en un ion $Li^{+\,+}$ ($Z = 3$) de su estado base hasta $n = \infty$.

* * * * *

$E_f = 0$, ya que $n_f = \infty$

$$E_i = -13.6\frac{Z^2}{n^2} = -13.6\left(\frac{9}{1}\right)$$

$$= -122.4 \text{ ev}$$

$$E_f - E_i = 0 - (-122.4) = 122.4 \text{ ev}$$

21. Calcule la energía absorbida cuando el electrón de un átomo de hidrógeno se mueve desde el estado $n = 1$ hasta el estado $n = 5$.

* * * * *

$$E_i = -13.6\frac{Z^2}{n^2} = -13.6\left(\frac{1}{1}\right) = -13.6 \text{ ev}$$

$$E_f = -13.6\left(\frac{1}{25}\right) = -0.54$$

$$E_i - E_f = -13.6 - (-0.54) = -13.06 \text{ ev}$$

22. Un espectro de absorción consiste de [(1) líneas brillantes sobre un fondo obscuro/(2) líneas obscuras sobre un espectro continuo] y aparece cuando la luz blanca pasa a través de un gas (luminoso/no luminoso). Un espectro de absorción es prueba de que los electrones de los átomos absorben energía (en forma continua/en saltos cuánticos).

* * * * *

(2); no luminoso; en saltos cuánticos.

23. Panel 15, figura 2. Un electrón libre con una energía cinética de 9 ev interactúa con un electrón ligado al estado base de un átomo de hidrógeno. Calcule la energía del electrón ligado después de la interacción. Calcule la energía cinética del electrón libre después de la interacción.

* * * * *

—13.6 ev (ningún cambio puesto que la energía necesaria para poner al electrón ligado en el siguiente nivel de energía es 10.2 ev).
9 ev.

24. Panel 15, figura 2. Un electrón libre con una energía cinética de 25 ev la transfiere totalmente a un electrón ligado en el estado base del hidrógeno. Calcule la energía del electrón que estaba ligado inicialmente al átomo después de la interacción.

* * * * *

$-13.6 + 25 = 11.4$ ev.

25. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) En un átomo con muchos electrones, todos los que tengan el mismo número cuántico principal tienen exactamente la misma energía.
(2) En un átomo con muchos electrones, cada uno de los que ocupan la órbita $n = 2$ tiene una energía diferente a cualquiera de los demás de esa misma órbita.
(3) La diferencia de energías entre dos electrones con el mismo número cuántico principal es probablemente mucho menor que la diferencia de energías entre dos electrones con diferentes números cuánticos principales.
(4) Los rayos X tienen frecuencias menores que la radiación ultravioleta.
(5) Para cualquier átomo particular, los rayos X característicos en la serie *L* tienen frecuencias mayores que los de la serie *K*.

* * * * *

(2); (3).

26. Una diferencia de potencial de 50,000 volts se emplea en un tubo de rayos X del tipo ilustrado en el panel 17. Calcule la frecuencia máxima de la radiación frenante que se produce.

* * * * *

$E = V_g = hf$

$(50{,}000 \text{ volts})(1.6 \times 10^{-19} \text{ coulombs}) = (6.63 \times 10^{-34} \text{ joule} \cdot \text{seg})f$

$$f = \frac{(50{,}000)(1.6 \times 10^{-19})}{6.63 \times 10^{-34}} = 1.2 \times 10^{19} \text{ Hz}$$

27. Los rayos X característicos (están/no están) cuantizados. Su frecuencia depende del [(1) potencial a través del cual los elec-

trones incidentes han sido acelerados/(2) número atómico del elemento que se está bombardeando].

* * * * *

están; (2).

PROBLEMAS

1. Compare los modelos del átomo de Thomson y Rutherford y describa cómo la dispersión de partículas α nos hace posible su validez.

2. Explique por qué los espectros de líneas brillantes de los elementos son más útiles en el análisis de la estructura atómica que los espectros continuos característicos de sólidos y líquidos.

3. ¿Cuál es la ecuación para la serie espectral del hidrógeno? Substituya valores apropiados para n_f para calcular (*a*) la serie de Balmer, (*b*) la serie de Paschen y (*c*) la serie de Lyman.

4. Enuncie las hipótesis de la teoría de Bohr para el átomo de hidrógeno y diga cómo explican las observaciones que son inconsistentes con la teoría clásica de la radiación electromagnética y el modelo de sistema solar del átomo de Rutherford.

5. ¿Cuánto trabajo se requiere para ionizar un átomo de hidrógeno? Calcule el trabajo que se necesita para desalojar el electrón de un ion de berilio triplemente ionizado (Be^{+3}).

6. (*a*) Construya un diagrama de niveles de energía para helio monoionizado (He^+) indicando las energías de su electrón en los estados cuánticos $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$, $n = 4$, $n = 5$ y $n = \infty$. (*b*) ¿Cuánto trabajo debe efectuarse para mover un electrón del nivel de energía $n = 2$ a $n = 5$ para el He^+?

7. Calcule la energía mínima que debe absorber un electrón en el estado de energía $n = 2$ de litio doblemente ionizado para liberarse del ion.

8. Un electrón con una energía cinética de 17.0 ev transfiere toda su energía a un electrón que se encuentra en el estado de energía $n = 2$ de un átomo de hidrógeno en una colisión. Calcule la energía cinética del electrón ligado después de la interacción.

9. Haga una clara distinción entre los rayos X característicos y la radiación frenante.

10. ¿Cómo difieren los siguientes tipos de radiación electromagnética con respecto a (*a*) longitud de onda, (*b*) velocidad de propagación, (*c*) frecuencia y (*d*) método o mecanismo de producción?
(1) luz visible;
(2) ondas de radio;
(3) rayos X.

11. Si la diferencia de potencial empleada en un tubo de rayos X es de 100,000 volts, ¿cuál es la frecuencia máxima de los rayos X que produce la radiación frenante?

12. Utilice la ecuación que aparece en la sección 7, cuadro 30, para calcular la energía máxima de los rayos X de (*a*) hierro ($Z = 26$); (*b*) estaño ($Z = 50$); y (*c*) cadmio ($Z = 48$).

CAPITULO 3

Física nuclear

OBJETIVOS

Después de terminar este capítulo, el estudiante estará capacitado para hacer lo siguiente:

1. Describir las emisiones α, β y γ de los isótopos radiactivos naturales.

2. Escribir las ecuaciones nucleares balanceadas para las transformaciones nucleares.

3. Describir e identificar las trayectorias α y β en las cámaras de niebla.

4. Definir vida media y las series radiactivas.

5. Definir y describir los radioisótopos que ha elaborado el hombre.

6. Describir el neutrino y su función en el decaimiento β.

7. Describir el positrón y la captura del electrón K.

8. Definir y calcular el defecto de masa, energía de amarre y energía de amarre por el nucleón.

9. Describir la curva de la energía de amarre por nucleón y relacionarla con la posibilidad de fusión o fisión de determinados núcleos.

10. Describir la fisión nuclear.

11. Identificar los elementos transuránicos.

12. Describir las fuerzas nucleares.

13. Identificar y describir las posibles reacciones termonucleares.

NOTA PRELIMINAR

En este capítulo examinamos la estructura del núcleo del átomo. En primer lugar, investigamos ciertos cambios naturales que ocurren en los núcleos de algunos átomos y en segundo lugar, observamos los cambios que ocurren artificialmente, es decir, cuando examinamos los núcleos en ciertas formas.

Este capítulo es apenas una introducción a esta área específica de la física; el tema es muy amplio en comparación con lo que podemos cubrir en este tipo de curso, y aún existen muchas preguntas sin respuesta. El estudiante que quiera profundizar más en la física nuclear puede consultar cualquiera de los siguientes libros.

Atkins, K. R., *Physics*, John Wiley & Sons (especialmente los capítulos 30-32).
Cook, C. Sharp, *Structure of Atomic Nuclei*, D. Van Nostrand Co.
Korsunsky, M., *The Atomic Nucleus*, Foreign Languages Publishing House, Moscú.
Liverhant, S. E., *Elementary Introduction to Nuclear Reactor Physics*, John Wiley & Sons.
Rogers, Eric, *Physics for the Inquiring Mind*, Princeton Univ. Press (especialmente los capítulos 36-44).

Sección 1. Substancias radiactivas y sus emanaciones

1. En nuestra investigación de la estructura del átomo utilizamos partículas de alta velocidad emitidas por el radio, llamadas partículas _____. Estas partículas tienen una carga (positiva/negativa/nula) y una masa (mucho mayor que/mucho menor que/igual que) la masa de un electrón.

* * * * *

alfa (α); positiva; mucho mayor que.

2. Se ha observado que las muestras de mineral que contienen ciertos elementos pesados como el urano emiten partículas como las α y *fotones de muy alta energía.* Las substancias que se comportan así reciben el nombre de *radiactivas.* El hidrógeno algunas veces emite fotones de muy baja energía; el radio emite fotones de muy alta

energía, partículas α y β. (El hidrógeno/el radio) es una substancia radiactiva.

* * * * *

el radio.

3. Se observa que una muestra de petchblenda (un mineral de uranio) emite haces de partículas α, fotones de muy alta energía y partículas β. La petchblenda debe contener una substancia_____

_____.

* * * * *

radiactiva.

4. Los rayos que emite un material radiactivo a veces se llaman emanaciones. Un haz de partículas α (es/no es) un tipo de emanación.

* * * * *

es.

5. Una de las pruebas obvias que se hacen con las emanaciones de las substancias radiactivas es observar cómo las afectan los campos eléctricos y magnéticos. En la figura 1 del panel 18 se coloca un pedazo de material radiactivo en el fondo de una perforación en un bloque de plomo. Las únicas emanaciones detectadas son las que pasan a través de la perforación. Esto indica que las emanaciones en otras direcciones (son/no son) absorbidas por el plomo.

* * * * *

son.

6. Panel 18, figura 1. Sabemos que las partículas α son un tipo de _____de los materiales_____.

* * * * *

emanación; radiactivos.

7. Panel 18, figura 1. Si las otras emanaciones de una substancia radiactiva son rayos de alta energía como las partículas α, velarán la placa fotográfica en el lugar donde incidan. *Antes* de que las placas metálicas P y P_1 estén cargadas eléctricamente, la placa fotográfica se vela solamente en el punto 2. Cuando P y P_1 tienen las

cargas indicadas en la figura, los rayos de las emanaciones se dividen en _____partes.

* * * * *

tres.

8. Panel 18, figura 1. El haz que incide en el punto 1 consiste en partículas (cargadas positivamente/cargadas negativamente/sin carga). El haz que incide en el punto 2 consiste de partículas (cargadas positivamente/cargadas negativamente/sin carga). El haz que incide en el punto 3 consiste en partículas (cargadas positivamente/cargadas negativamente/sin carga).

* * * * *

cargadas positivamente; sin carga; cargadas negativamente.

9. Panel 18, figura 1. El haz que incide en el punto 3 (consiste/no consiste) de partículas α.

* * * * *

no consiste.

10. Panel 18, figura 1. El haz que incide en el punto 3 consiste de partículas beta (β). Estas, tienen una carga (positiva/negativa/nula); como las partículas α son también _____de un material _____.

* * * * *

negativa; emanaciones; radiactivo.

11. Panel 18, figura 1. El haz que continúa incidiendo en el punto 2 mientras existe un campo eléctrico en el espacio entre P y P_1 consiste de fotones llamados rayos gamma (γ). El haz de fotones γ constituye un tipo de radiación electromagnética. Los fotones gamma tienen una carga (positiva/negativa/nula).

* * * * *

nula.

12. Las partículas alfa, las partículas β, y los fotones γ todos son _____de los materiales_____. De las tres, la única que *no* es afectada por un campo eléctrico es el _____

* * * * *

emanaciones; radiactivos; fotón γ.

13. Una partícula β tiene la masa y la carga de un electrón; una partícula α tiene una masa de unas cuatro veces mayor que la del núcleo del hidrógeno y una carga de exactamente lo doble. La masa de una partícula α es aproximadamente (2/10/2000/3000) veces la masa del electrón. La carga de una partícula α es exactamente ... (+/—) 2 (coulombs/cargas elementales). La carga de una partícula β es (+/—) 1 (coulomb/cargas elementales).

* * * * *

8000; +; cargas elementales; —; cargas elementales.

14. Los fotones gamma (son/no son) partículas cargadas. La masa en reposo de un fotón γ es _____ (*número*). La velocidad de un fotón γ en el vacío es de _____metros/segundo.

* * * * *

no son; cero; 3×10^8.

15. Panel 18. Examine la figura 2 y lea el párrafo descriptivo. Cuando el pistón se jala hacia abajo rápidamente, el gas se expande adiabáticamente y su temperatura disminuye. El gas está entonces (saturado/supersaturado) y [(1) continúa entrando vapor al gas procedente del líquido/(2) el vapor se condensa en pequeñas gotitas].

* * * * *

supersaturado; (2).

16. Panel 18, figura 2. La presencia de iones en el gas (ayuda/previene) la condensación del vapor en gotitas a partir de un gas supersaturado.

* * * * *

ayuda.

17. Panel 18, figura 2. Cuando una muestra de material radiactivo se coloca en la cámara de niebla, los haces α, β, y γ se mueven a través de la cámara. *La capacidad de una partícula para producir iones depende en gran parte de su propia masa y carga.* De las tres emanaciones de los materiales radiactivos, la partícula que produce la mayor parte de iones en su trayectoria es la_____.

* * * * *

partícula α (cada una produce alrededor de 200,000 iones en una trayectoria de 2 pulgadas a través del aire en una cámara de niebla).

18. Recordemos el experimento de la disposición de partículas α de Rutherford. La colisión de las partículas α con los núcleos pesados de oro son relativamente (frecuentes/raros).

* * * * *

raros.

19. Como los átomos de un gas están considerablemente lejanos en comparación a la lámina delgada de oro, las colisiones de partículas α con los núcleos en una cámara de niebla son probablemente (más raras/más frecuentes) que en el caso de la lámina de oro.

* * * * *

más raras.

20. Conforme una *partícula* α se mueve a través de una cámara de niebla, sus interacciones son casi invariablemente con los *electrones* asociados con el gas o con las moléculas de vapor. Su movimiento es comparable al de una (pelota de *ping-pong*/pelota de billar) que se mueve a una gran velocidad sobre una mesa donde se encuentran dispersas pelotas de (*ping-pong*/billar). Probablemente la partícula α (es/no es) desviada de su trayectoria por colisiones con electrones

* * * * *

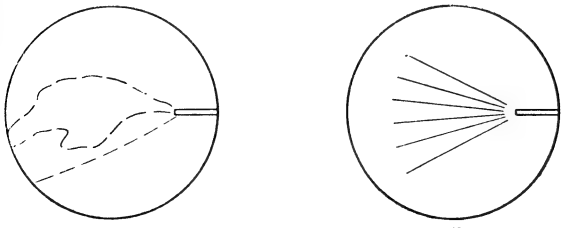
pelota de billar; *ping-pong*. (La partícula α es mucho más masiva que el electrón); no es.

21. Conforme una *partícula* β se mueve a través de una cámara de niebla, es más probable que interactúe con (otros electrones/núcleos de átomos). El movimiento de una partícula β es, por tanto, comparable con una pelota de (*ping-pong*/billar) que se mueve con gran velocidad sobre una mesa que tiene dispersas pelotas de *ping-pong*. La partícula β es (más/menos) probable que sea desviada de su trayectoria por colisiones con electrones que una partícula α.

* * * * *

otros electrones; *ping-pong;* más.

22.



(a) (b)

Las trayectorias en [(*a*)/(*b*)] son producidas por partículas α en una cámara de niebla.

* * * * *
(*b*).

23. Consulte el panel 19. La figura 1 es una fotografía de las trayectorias en una cámara de niebla producidas por partículas α del mismo isótopo radiactivo. Las longitudes de las trayectorias sugieren que la energía de las partículas α del mismo isótopo radiactivo es (casi uniforme/muy variable).

* * * * *
casi uniforme.

24. Panel 19, figura 2. En este caso las longitudes de las trayectorias producidas en la cámara de niebla por las partículas α (sea/no son) uniformes. Esto sugiere que probablemente las energías de las partículas α de diferentes isótopos radiactivos son (las mismas/diferentes).

* * * * *
no son; diferentes.

25. Panel 19, figura 3. La horquilla en esta figura indica que ha ocurrido una rara colisión de una partícula α con un núcleo de helio. El hecho de que ambas trayectorias que salen del punto de colisión tengan la misma anchura y que el ángulo entre ellas sea de 90° indica que la partícula α es (mucho mayor que/mucho menor que/aproximadamente el mismo tamaño) que el átomo de helio.

* * * * *
aproximadamente el mismo tamaño.

26. De hecho, cuando las partículas α disminuyen su velocidad y capturan electrones para balancear su carga positiva, tienen todas las propiedades físicas y químicas de los átomos de helio. Existe amplia evidencia, entonces de que las partículas α son átomos de helio (mono/doblemente) ionizados, expulsados a gran velocidad por ciertas substancias_____.

* * * * *
doblemente; radiactivas.

27. Panel 19. Consulte la figura 4. La anchura de la trayectoria

producida por el núcleo de nitrógeno que rebota indica que es un agente ionizante (más/menos) efectivo que la partícula α.

* * * * *

más.

28. Consulte el panel 20. La figura 1 consiste en dos trayectorias dejadas por partículas β en una cámara de niebla. El carácter globular (no uniforme) de cada trayectoria sugiere que una partícula β es un agente ionizante (más/menos) efectivo que una partícula α.

* * * * *

menos.

29. Panel 20, figura 1. Cuanto más rápido se esté moviendo una partícula, menos será desviada en la interacción con partículas de igual masa. La trayectoria producida por la partícula que se mueve rápidamente es la trayectoria (1/2).

* * * * *

2.

30. Las partículas cargadas y con alta velocidad probablemente producirán más iones que las partículas no cargadas y con alta velocidad. En una cámara de niebla, podemos esperar que un fotón γ sea un agente ionizante (más/menos) efectivo que las partículas α y β.

* * * * *

menos.

31. El trazo que deja un fotón γ en una cámara de niebla es el resultado de los electrones que saca de las moléculas del gas que está dentro de la cámara. Esta es una forma del efecto_____.

* * * * *

fotoeléctrico.

32. Los fotoelectrones que se producen cuando un fotón γ se mueve a través de una cámara de niebla producen entonces trayectorias que son semejantes a las producidas por las partículas (α/β). Aunque ellas son (más cortas/más largas) pues, por lo general tienen mucho menos energía.

* * * * *

β; más cortas.

33. Panel 20. Las trayectorias en la figura 2 son el resultado de los _____ producidos por fotones _____ conforme se mueven a través de la cámara.

* * * * *

fotoelectrones; γ.

34. *Repaso.* Las emisiones de las substancias radiactivas se llaman, en general, _____. Consisten en tres tipos específicos de partículas llamados _____, _____, y _____.

* * * * *

emanaciones; *en cualquier orden*: partículas α, partículas β, fotones γ.

35. *Repaso.* La partícula α tiene aproximadamente la misma masa que un átomo de _____; o sea unas 8000 veces la masa de (un átomo de hidrógeno/un electrón). La partícula β tiene la misma masa y carga que (un núcleo de hidrógeno/un electrón). Un fotón γ tiene [(1) la misma masa que un electrón/(2) la misma masa que un protón/(3) una masa en reposo nula].

* * * * *

helio; un electrón; un electrón; (3).

36. *Repaso.* El trazo dejado por una partícula α en una cámara de niebla aparece como una recta (continua/globular) y (derecha/curvada). El trazo dejado por una partícula β es (continuo/globular) y será probablemente una (recta/curva) salvo que la partícula se esté moviendo muy aprisa. La evidencia de que un fotón γ se está moviendo a través de una cámara de niebla consiste en (un trazo/varios trazos) que se producen cuando las moléculas del gas dentro de la cámara son ionizadas por _____ producidos por los fotones γ.

* * * * *

continua; recta; globular; curva; varios trazos; fotoelectrones.

37. *Repaso.* De los tres tipos de emanación de las substancias radiactivas los agentes ionizantes más efectivos son las _____.

* * * * *

partículas α.

38. *Repaso.* Las partículas α de una mezcla de isótopos diferentes tienen (la misma energía/diferentes energías).

* * * * *

diferentes energías.

39. *Repaso.* Cualquier material del cual emanan partículas α o partículas β y fotones γ se dice que es _____.

* * * * *

radiactivo.

40. *Repaso.* Una partícula α tiene una carga eléctrica de (+/—) _____ (*número y unidades*). Una partícula β tiene una carga eléctrica de (+/—) _____.

* * * * *

+2 cargas elementales; —1 cargas elementales.

Sección 2. Cambios de energía que ocurren en el decaimiento radiactio símbolos y ecuaciones nucleares.

1. La masa de un átomo de helio es aproximadamente 7×10^{-27} kg; la velocidad de una partícula α en el vacío es aproximadamente 10^7 metros/segundo. Utilice esta información para estimar la energía cinética de una partícula α en electrón volts.

* * * * *

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(7 \times 10^{-27}\ \text{kg})(10^7\ \text{m})^2$$
$$= 3.5 \times 10^{-27} \times 10^{14}\ \text{joule}$$
$$= 3.5 \times 10^{-13}\ \text{joule}$$
$$= (3.5 \times 10^{-13}\ \text{joule})(6.25 \times 10^{18}\ \text{ev/joule})$$
$$\approx \mathbf{2 \times 10^6\ ev}$$

2. La masa relativista de una partícula β que se mueve con aproximadamente 98% de la velocidad de la luz es aproximadamente 4×10^{-30} kg. Utilice estos datos para estimar la energía cinética de una partícula β en electrón volts.

* * * * *

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(4 \times 10^{-30}\ \text{kg})[0.98)(3 \times 10^8\text{m/seg})]^2$$

$\approx 17 \times 10^{-14}$ joule $(6.25 \times 10^{18}$ ev/joule)
$\approx \mathbf{10^6}$ **ev**

3. Los fotones gamma están asociados con frecuencias de 10^{20} Hz y mayores. Estime la energía (en electrón volts) de un fotón γ con $f = 10^{20}$ Hz.

* * * * *

$hf = (6.63 \times 10^{-34}$ joule · seg) $(10^{-20}$ Hg)
$= 6.63 \times 10^{-14}$ joule
$= (6.63 \times 10^{-14})(6.25 \times 10^{18})$ ev
$\approx \mathbf{4 \times 10^5}$ **ev**

1. *La energía estimada de una partícula $\alpha = 10^6$ ev.
*La energía cinética estimada de una partícula $\beta = 10^6$ ev.
*La energía estimada de un fotón $\gamma = 10^5$ ev.
(*Estas son estimaciones muy aproximadas. Los valores reales varían y abarcan varios intervalos de magnitud para diferentes substancias radiactivas. Por ejemplo, las energías de los rayos γ van desde 10^3 hasta 10^6 ev).

El panel 21 proporciona una tabla de energías (por molécula) para las interacciones físicas y químicas usuales. ¿Cuáles de éstas proporcionan energía suficiente para producir las energías de las emisiones radiactivas?

* * * * *

ninguna.

5. Panel 21. Las interacciones responsables de las emanaciones que observamos en las substancias radiactivas implican energías de aproximadamente (10/100/1.000,000) ev. La mayoría de las interacciones químicas implican energías que rara vez son mayores de (10/100/1.000,000) ev.

* * * * *

1.000,000; 100.

6. Panel 22. 10^6 ev = 1 Mev. La combustión química implica energías que son del orden de magnitud de un (ev/Mev). Las emanaciones de los materiales radiactivos implican energías que son del orden de magnitud de 1 (ev/Mev).

* * * * *

ev; Mev.

7. Consulte el resumen al principio del cuadro 4. La energía cinética de una partícula α es aproximadamente_____Mev. La energía de una partícula β es aproximadamente_____Mev.

* * * * *

1; 1.

8. Se sabe que las reacciones químicas acarrean cambios en las energías de los electrones de las capas externas y que estas interacciones implican energías menores que 100 ev. Es (probable/poco probable) que la emisión de partículas α, partículas β y fotones y resulte de reacciones químicas.

* * * * *

poco probable.

9. Puede demostrarse que en la relación entre dos protones del núcleo de un átomo interviene una energía potencial no menor que 5 Mev. Las emanaciones radiactivas se originan probablemente en (las capas electrónicas/el núcleo) de un átomo.

* * * * *

el núcleo.

10. Comprender el fenómeno que llamamos radiactividad implica conocer [(1) la forma en que estan distribuidos los electrones en un átomo/(2) las partículas que emanan del núcleo atómico].

* * * * *

(2).

11. En *electricidad y magnetismo* (Vol. II de *Física programada,* capítulo cuatro, sección 7), describimos el *espectrómetro de masas,* un aparato que hace posible distinguir entre los átomos de (el mismo elemento/diferentes elementos) los cuales tienen (la misma masa/diferentes masas).

* * * * *

el mismo elemento; diferentes masas.

12. Los átomos del *mismo elemento* que tienen diferentes masas reciben el nombre de *isótopos* de ese elemento. Los átomos de hidrógeno

y oxígeno tienen masas diferentes; (son/no son) isótopos del mismo elemento.

* * * * *

no son (son elementos diferentes).

13. Un espectrómetro de masas nos permite distinguir entre los _____del mismo elemento.

* * * * *

isótopos.

14. Se conocen tres tipos de átomos de oxígeno, que se distinguen por el hecho de que tienen masas diferentes. Estos (son/no son) isótopos del oxígeno.

* * * * *

son.

15. Todos los átomos del mismo elemento tienen la misma carga nuclear. Todos los átomos del mismo elemento tienen igual (masa/número atómico). Todos los átomos del mismo elemento *no* tienen igual (masa/número atómico).

* * * * *

número atómico; masa.

16. En el capítulo dos hemos sabido que la carga nuclear se explica por la existencia de partículas cargadas positivamente llamadas_____ en el núcleo de un átomo. El número de estas partículas en el núcleo de un átomo de algún elemento recibe el nombre de número _____ de ese elemento.

* * * * *

protones; atómico.

17. A excepción de un isótopo del elemento más simple, el hidrógeno, la masa de los protones en cualquier núcleo *no* explica toda la masa del mismo. Además de los protones de cualquier núcleo atómico (diferente del hidrógeno) existen partículas que tienen aproximadamente la misma masa que los protones y reciben el nombre de *neutrones*. Como los protones explican toda la carga positiva de un átomo y los electrones explican toda la carga negativa, los neutrones tienen una carga (positiva/negativa/nula).

* * * * *

nula.

18. El número atómico de cualquier elemento indica el número de (neutrones/protones) en el núcleo de cualquier átomo de ese elemento; describe la (carga/masa) del núcleo de un átomo de ese elemento.

* * * * *

protones; carga.

19. Todos los isótopos del mismo elemento tienen el mismo número atómico. Pero dos isótopos del mismo elemento tienen masas diferentes. ¿Qué es lo que explica la diferencia de masa?

* * * * *

Isótopos del mismo elemento tienen diferentes números de *neutrones* en sus núcleos.

20. El oxígeno tiene el número atómico 8. Cualquier isótopo del oxígeno tiene 8 (protones/neutrones).

* * * * *

protones.

21. Cuando los protones y los neutrones, están dentro de un núcleo, reciben el nombre de *nucleones*. El número de nucleones en un isótopo recibe el nombre de *número de masa* de ese isótopo particular. Uno de los isótopos del oxígeno tiene el número de masa 18. El número atómico del oxígeno es 8. El número de neutrones en el nucleo de este isótopo particular del oxígeno es ——

* * * * *

10.

22. El número átomico del neón es 10; uno de sus isótopos tiene 11 neutrones. El número de nucleones en este isótopo particular es ——— ; el número de masa de este isótopo particular es ———.

* * * * *

21; 21.

23. Utilizamos Z para representar el número atómico de un elemento; utilizamos A para representar el número de masa de un isótopo de ese elemento; utilizamos N para representar el número

de neutrones en el núcleo del isótopo.
N = ———, en términos de Z y A.

* * * * *

$A - Z$.

24. El número atómico del silicio es 14. Uno de los isótopos del silicio tiene 16 neutrones en su núcleo. El número de ——— en su núcleo es 30. Para este isótopo particular del silicio Z = ———, A = ———, y N = ———.

* * * * *

nucleones; 14; 30; 16.

25. Los isótopos del mismo elemento tienen [(1) el mismo número atómico/(2) diferentes números atómicos], [(1) el mismo número de masa/(2) diferentes números de masa], y [(1) el mismo número de neutrones/(2) diferentes números de neutrones]

* * * * *

(1); (2); (2).

26. Hemos visto que las emanaciones radiactivas deben estar asociadas con cambios que ocurren [(1) en la estructura de las capas electrónicas/(2) en el núcleo] del átomo.

* * * * *

(2).

27. La naturaleza de la emisión radiactiva es tal que esperamos que ocurran cambios en [(1) la masa solamente/(2) la carga solamente/(3) ni la masa ni la carga/(4) la masa o la carga o ambas] en el núcleo del isótopo radiactivo.

* * * * *

(4).

28. Una partícula α consiste de dos neutrones y dos protones. Cuando un isótopo radiactivo emite una partícula α, su número atómico (aumenta/disminuye) en —— (*número*) y su número de masa (aumenta/disminuye) en ——.

* * * * *

disminuye; 2; disminuye; 4.

29. La masa de una partícula β es *despreciable* en comparación con la masa de un protón o neutrón. Cuando el núcleo de un elemento radiactivo emite una partícula β, su número atómico (aumenta en 1/disminuye en 1/permanece inalterable) y su número de masa (aumenta en 1/disminuye en 1/permanece inalterable).

* * * * *

aumenta en 1 (pierde — 1 cargas).
permanece inalterable.

30. Un fotón γ tiene una masa en reposo nula y no tiene carga. La emisión de un fotón γ por el núcleo de un isótopo radiactivo (tiene/no tiene) efecto sobre el número atómico del isótopo; (tiene/no tiene) efecto sobre el número de masa del isótopo.

* * * * *

no tiene; no tiene; (en realidad, los fotones γ nunca se emiten solos; acompañan a las partículas α o β).

31. El elemento uranio tiene el número atómico 92. Uno de sus isótopos tiene el número de masa 238 y es radiactivo. Cuando uno de estos isótopos emite una partícula α el isótopo resultante tiene un número atómico ——— y un número de masa ———.

* * * * *

90 (el nuevo elemento recibe el nombre de torio).
234.

32. Cuando el uranio 238 emite una partícula α, el átomo resultante es un isótopo del torio ($Z = 90$) con un número de masa 234. Este isótopo del torio emite entonces una partícula β. El átomo resultante tiene $Z =$ ——— y $A =$ ———.

* * * * *

91 (pierde una carga negativa; su carga positiva aumenta en 1. El elemento es el protactinio).
234 (la emisión beta no afecta la masa del núcleo).

33. Los científicos interesados en los cambios que ocurren en los núcleos de los átomos han creado una taquigrafía semejante a la empleada por los químicos para describir los cambios químicos. (Los cambios químicos no afectan la estructura y el contenido de los núcleos de los átomos que participan, de manera que los símbolos químicos por lo común no hacen referencia al número de nucleones

dentro de los núcleos de estos átomos). Un tipo de cambio nuclear es el decaimiento radiactivo. Este tipo de cambio (implica/no implica) un cambio en la estructura y contenido nuclear. Los símbolos empleados para describir los cambios nucleares (deben/no deben) hacer referencia a los números atómicos y los números de masa de los núcleos que intervienen en tales cambios.

* * * * *

implica; deben.

34. $_{20}Ca^{42}$. Este es un ejemplo de un símbolo que se usa para describir los cambios nucleares. Es un isótopo del calcio. El número en la parte inferior izquierda es el número atómico del calcio; el número en la parte superior derecha, 42, es el número de masa de este isótopo.

El panel 22 es una lista alfabética de los elementos, sus símbolos y sus números atómicos. Escriba el símbolo para el isótopo del potasio que tiene un número de masa 39.

* * * * *

$_{19}K^{39}$.

35. Panel 22. Como todos los isótopos del mismo elemento tienen el mismo número atómico, algunas veces describimos determinado isótopo mediante el nombre del elemento seguido por el número de masa del isótopo. Por ejemplo, el uranio 234 tiene un número atómico Z = —— y un número de masa A = ———.

* * * * *

92 (del panel 22); 234.

36. Panel 22. El platino 195 tiene ——— nucleones, de los cuales ——— son protones y ——— son neutrones. En forma simbólica, este isótopo se escribe ———.

* * * * *

195; 78; 195 — 78 = 117

$_{78}Pt^{195}$.

37. $_{6}C^{12}$. Este símbolo representa un isótopo del carbono. El 6 es el número ———del carbono; el 12 es el número ——— de este isótopo.

* * * * *

atómico; masa.

38. Una partícula α tiene la misma estructura que el núcleo del helio 4. Es decir, una partícula α consiste en cuatro (protones/neutrones/nucleones), específicamente, dos _____ y dos _____.

* * * * *

nucleones; *en cualquier orden:* protones, neutrones.

39. En una ecuación que describe un cambio nuclear donde participa un partícula α emplearemos el símbolo $_2He^4$ para representarla El uranio 238 emite una partícula α y se convierte en un isótopo del torio. Podemos describir esta reacción nuclear en la forma siguiente: $_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}Th^{234} + $ _____.

* * * * *

$_2He^4$

40. Una partícula β tiene la carga y la masa de un electrón. En una ecuación nuclear la representaremos como $_{-1}e^0$. El ^{0} indica que, comparada con la masa de un nucleón, la masa de una partícula β es despreciable. Cuando un núcleo emite una partícula β, *no* hay cambio en su número de _____: hay un cambio en su número _____.

* * * * *

masa; atómico.

41. El torio 234 emite una partícula β y se convierte en un isótopo del protactinio $_{90}Th^{234} \rightarrow$ _____ + _____. (Consulte el panel 22 para el símbolo requerido).

* * * * *

$_{91}Pa^{234} + {}_{-1}e^0$ (notemos que la carga se conserva y que el número total de nucleones también se conserva).

42. Cuando el núcleo de un isótopo radiactivo emite una partícula α, el valor de Z:

(1) aumenta en 2
(2) disminuye en 2
(3) aumenta en 1
(4) disminuye en 1
(5) aumenta en 4
(6) disminuye en 4

(7) permanece inalterable, mientras que el valor de *A* [*escoja del* (1) *al* 7)].

Cuando el núcleo de un isótopo radiactivo emite una partícula β, el valor de Z [*escoja del* 1) *al* 7)] mientras el valor de *A* [*escoja del* 1) *al* 7)].

* * * * *

(2); (6); (3); (7).

43. Cuando un isótopo radiactivo emite (una partícula α/una partícula β/un fotón γ) el valor de Z aumenta en uno y el valor de *A* no se altera. ¿Qué tipo de emanación resulta cuando Z aumenta en dos y *A* disminuye en cuatro? ¿Qué tipo de emanación no tiene efecto sobre Z o *A*?

* * * * *

una partícula β; una partícula α; un fotón γ.

44. El panel 23 registra los elementos de acuerdo con el número atómico. El isótopo torio 232 decae radiactivamente emitiendo una partícula α. El otro producto de esta reacción es un isótopo de un elemento con Z = _____. Este elemento es _____.

* * * * *

88. (La emisión de una partícula α reduce el número atómico en 2). radio (del panel 23).

45. Escriba una ecuación nuclear que describa el decaimiento radiactivo del torio 232 mencionado en el cuadro 44.

* * * * *

$_{90}Th^{232} \rightarrow {}_{88}\mathbf{Ra}^{228} + {}_{2}He^{4}$

46. Los paneles 22 y 23. El radio 228 emite entonces una partícula β y se convierte en un isótopo del elemento _____.

$_{88}Ra^{228} \rightarrow$ _____ + _____.

* * * * *

actinio (como el núcleo de $_{88}Ra^{228}$ pierde una carga negativa su número atómico es aumentado a 89).

$_{89}Ac^{228} + {}_{-1}e^{0}$

47. $_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_{2}He^{4}$

$_{90}Th^{234} \rightarrow {}_{91}Pa^{234} + {}_{-1}e^{0}$

$_{84}Po^{211} \rightarrow {}_{82}Pb^{207} + {}_{2}He^{4}$

$_{82}Pb^{212} \rightarrow {}_{83}Bi^{12} + {}_{-1}e^{0}$

Compare la suma de los números de masa en el segundo miembro de cada ecuación con el número de masa de los isótopos en el primer miembro. Compare los números atómicos de los isótopos en el primer miembro con la suma de las cargas en los segundos miembros. ¿Qué conclusión saca?

* * * * *

La suma de los números de masa en el segundo miembro es siempre la misma que el número de masa en el primer miembro; la suma de las cargas en el segundo miembro es siempre la misma que el número atómico del isótopo en el primer miembro.

48. *Repaso.* (1) $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

(2) $_{84}Po^{216} \rightarrow {}_{82}Pb^{212} + {}_{2}He^{4}$

La ecuación (1) describe una reacción química y la ecuación (2) describe una reacción nuclear. La energía que participa en (1) es (mucho menor que/mucho mayor que/aproximadamente igual a) la energía implicada en (2).

* * * * *

mucho menor que.

49. *Repaso.* Las energías cinéticas de las partículas α y β y las energías de los fotones γ son aproximadamente (1 ev/100ev/1 Mev).

* * * * *

1 Mev (el valor exacto varía con la substancia radiactiva particular que se considere pero 1 Mev es más cercano que cualquiera de las otras selecciones).

50. *Repaso.* 1 Mev. = _____ ev.

* * * * *

10^6 ó 1,000,000.

51. *Repaso.* Utilice los paneles 22 y 23 cuando sea necesario. El símbolo para el elemento radón es_____. Su número atómico es _____. El símbolo para el isótopo radón —222 es_____ Este isótopo es radiactivo y emite una partícula α. Escriba una ecuación que describa este cambio.

* * * * *

Rn ; 86 ; $_{86}Rn^{222}$
$\rightarrow {}_{84}Po^{218} + {}_{2}He^{4}$

52. *Repaso.* $_{83}Bi^{210}$. Este símbolo representa el núcleo de un isótopo del elemento para el cual $Z =$ _____. Para este isótopo particular $A =$_____ y $N =$ _____.

* * * * *

83; 210; 210 — 83 = **127**

53. $_{80}Hg^{202}$. Este símbolo representa el núcleo de un isótopo del mercurio. El núcleo consiste en_____protones y_____neutrones.

* * * * *

80; 202 — 80 = **122**

54. *Repaso.* En una ecuación nuclear representamos una partícula α por medio del símbolo_____y una partícula β por el símbolo _____.

* * * * *

$_{2}He^{4}$; $_{-1}e^{0}$.

55. *Repaso.* Los isótopos del mismo elemento tienen (el mismo número/diferente número) de neutrones y (el mismo número/diferente número) de protones.

* * * * *

números diferentes; el mismo número.

56. Repaso. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) Todos los isótopos del mismo elemento tienen la misma masa.
(2) Oxígeno-18 tiene 18 protones.
(3) $_{78}Pt^{192}$ tiene 78 neutrones.
(4) $_{76}Os^{192}$ tiene 192 nucleones.
(5) $_{84}Po^{214} \rightarrow {}_{82}Pb^{210} + {}_{-1}e^{0}$

(6) $_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_{2}He^{4}$
(7) $_{90}Th^{234} \rightarrow {}_{91}Pa^{234} + {}_{2}He^{4}$

* * * * *

(4); (6).

57. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) Los fotones gamma tienen una masa en reposo nula y una carga de — 1 cargas elementales.
(2) La energía de un fotón γ está más cerca de 1 Mev que a 1 ev.
(3) El decaimiento radiactivo por emisión de partículas α rara vez implica energías de más de 100 ev.
(4) El neón-22 tiene 12 neutrones.
(5) Todas las partículas α emitidas por el mismo isótopo radiactivo tienen aproximadamente la misma energía.

* * * * *

(2); (4); (5).

Sección 3. Las formas del decaimiento radiactivo; la vida media

1. Se dice que un isótopo al que no se ha observado sufrir espontáneamente un cambio en su estructura y contenido nuclear es un isótopo *estable*. ¿Emite el núcleo de un isótopo estable partículas α, partículas β, o fotones γ?

* * * * *

¡No!

2. Un isótopo naturalmente radiactivo es aquel cuyo núcleo sufre cambios [(1) espontáneamente/(2) solamente después que ha sido bombardeado por otras partículas]. Un isótopo estable es aquel cuyo núcleo sufre cambios [(1) espontáneamente/(2) solamente después de que ha sido bombardeado por otras partículas].

* * * * *

(1); (2).

3. Se ha observado que el plomo-212 emite partículas β y fotones γ espontáneamente; el plomo-208 no emite éstas o partículas α y no se ha observado ningún cambio espontáneo dentro de su núcleo. El plomo-212 es un isótopo_____; el plomo-208 es un isótopo_____.

* * * * *

naturalmente radiactivo; estable.

4. (1) $_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_{2}He^{4}$.
(2) $_{90}Th^{234} \rightarrow {}_{91}Pa^{234} + {}_{-1}e^{0}$

En (1), $_{92}U^{238}$ recibe el nombre de núcleo *padre* y $_{90}Th^{234}$ recibe el nombre de núcleo *hijo*. En (2), $_{91}Pa^{234}$ es el núcleo_____ y $_{90}Th^{234}$ es el núcleo_____.

* * * * *

hijo; padre.

5. $_{88}Ra^{228} \rightarrow {}_{89}Ac^{228} + {}_{-1}e^{0}$. En este ejemplo de la radiactividad natural, ($_{88}Ra^{228}$/ $_{89}Ac^{228}$) es el núcleo padre.

* * * * *

$_{88}Ra^{228}$.

6. Generalmente los físicos creen ahora que la emisión de partículas α o partículas β a partir de núcleos naturalmente radiactivos es, en algunas formas, semejante a la emisión de fotones de los átomos conforme éstos cambian de los estados excitados a sus estados base. Cuando un núcleo padre emite una partícula α, el núcleo hijo resultante existe en un estado de energía (superior/inferior).

* * * * *

inferior.

7. Cuando un núcleo naturalmente radiactivo emite una partícula β, el núcleo hijo se encuentra (más cerca de/más lejos de) el estado base nuclear que el núcleo padre.

* * * * *

más cerca de.

8. Cuando un núcleo naturalmente radiactivo cambia a una estructura y contenido que sean más estables, es decir, más cerca de su estado base, emite ya sea una_____ o una_____.

* * * * *

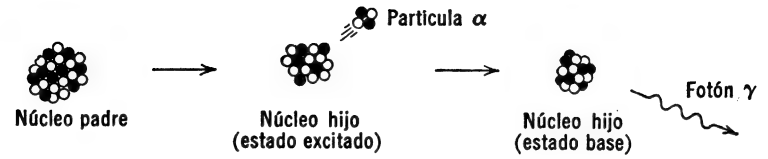
partícula β; partícula α.

9. Recordemos, sin embargo, que además de estas emanaciones, los núcleos naturalmente radiactivos también emiten_____.

* * * * *

fotones γ.

10.



El núcleo hijo que resulta de una emisión de una partícula α *puede* entonces estar en un estado *base*; si es así, (emite/no emite) un fotón γ. Más probablemente, el núcleo hijo se encuentra aún en un estado algo excitado aun después de que la partícula α ha sido emitida; en este caso, el núcleo hijo (emite/no emite) un fotón γ.

* * * * *

no emite; emite.

11. Los fotones gamma acompañan la emisión de partículas α cuando la emisión de una partícula α por un núcleo padre no deja al núcleo hijo en un estado base. De hecho, el fotón γ es emitido por el núcleo (padre/hijo).

* * * * *

hijo.

12. Como regla general, el núcleo hijo que aún está en un estado excitado llega a su estado base emitiendo un fotón γ en aproximadamente 10^{-12} segundos. La partícula α es emitida (antes que/después que/simultáneamente con) el fotón γ.

* * * * *

antes que.

13. Los fotones γ que acompañan a la emisión de partículas β de los núcleos naturalmente radiactivos tienen la misma función que en la emisión de partículas α. El núcleo padre emite primero un (fotón γ/partícula β); después, conforme el núcleo hijo llega a su estado base emite un (fotón γ/partícula β).

* * * * *

partícula β; fotón γ.

14. La longitud uniforme de los trazos en la cámara de niebla producidos por las partículas α de una substancia que consiste en un

solo tipo de isótopo radiactivo sugiere que la energía de una partícula α (es/no es) característica del isótopo que la emite.

* * * * *

es.

15. Las energías de las partículas α de un isótopo particular tienden a estar limitadas a un intervalo muy pequeño, y para la mayor parte de propósitos prácticos, pueden considerarse uniformes para esa substancia. La energía cinética de la partícula α emitida por el torio-230 es de 4.69 Mev. Cabe esperar que la energía cinética de la partícula α emitida por el torio-227 sea (la misma/diferente).

* * * * *

diferente (son isótopos diferentes. La energía cinética de la partícula α del torio-227 es 5.97 Mev).

16. Las observaciones de las energías cinéticas de las partículas β emitidas por los mismos isótopos indican que existe una energía máxima definida para las partículas β emitidas por determinado isótopo, *pero que existe también un intervalo continuo de energías por debajo de este máximo.* Esto significa que las energías cinéticas de las partículas β de determinado isótopo (son/no son) tan uniformes como lo son para las partículas α emitidas por un isótopo particular que decae por una emisión de partículas α.

* * * * *

no son.

17. Consulte el panel 24. La figura 1 es un diagrama de algunos de los modos típicos de emisión y energías de las partículas β de núcleos que tienen el mismo número atómico. La línea horizontal superior representa el estado de energía de los núcleos padres antes de que emitan una partícula β. Las flechas verticales continuas representan las energías de las partículas β emitidas conforme estos núcleos pasan a los estados (base/excitados) de los núcleos hijos.

[(1) Todas estas partículas β tienen suficiente energía para explicar la diferencia entre el núcleo padre y el estado excitado del núcleo hijo. /(2) Ninguna de estas partículas β tienen suficiente energía para explicar la diferencia entre el núcleo padre y el estado excitado del núcleo hijo. /(3) Una de estas partículas β tiene sufi-

ciente energía para explicar la diferencia entre el núcleo padre y el estado excitado del núcleo hijo.]

* * * * *

excitado; (3).

18. Panel 24. Las flechas continuas en la figura 1 representan solamente algunas de las posibles energías de las partículas β emitidas por este isótopo particular. Solamente las partículas β que tienen su energía representada por la flecha marcada [(*a*)/(*b*)/(*c*)/(*d*)/(*e*)/(*f*)] tienen suficiente energía para explicar la diferencia observada entre el núcleo padre y el estado excitado del núcleo hijo.

* * * * *

(*a*).

19. Panel 24, figura 1. El cambio del núcleo padre al estado excitado del núcleo hijo es explicado por una partícula β solamente cuando la partícula β se observa que es emitida con una energía máxima [es decir, representada por la flecha marcada (*a*)]. Los fotones γ representan la diferencia de energía entre [(1) el núcleo padre y el estado excitado del núcleo hijo/(2) el estado excitado y el estado base del núcleo hijo]. Los fotones gamma son emitidos [(1) después de que el núcleo padre ha cambiado a su núcleo hijo/(2) mientras el núcleo padre está emitiendo su partícula β]. Esto significa que los fotones γ (pueden/no pueden) explicar la diferencia de energía entre un núcleo padre y el estado excitado de su núcleo hijo cuando la partícula β emitida tiene una energía menor que la energía máxima (es decir, para (*b*), (*c*), (*d*), etc.).

* * * * *

(2); (1); no pueden.

20. Panel 24, figura 1. Cada una de las flechas punteadas representa la diferencia no explicada en la energía entre un núcleo padre y el estado excitado de su núcleo hijo cuando la partícula β emitida por el núcleo padre (tiene/no tiene) energía máxima.

* * * * *

no tiene.

21. Panel 24. El paradero del resto de la energía que representa la diferencia observada entre el núcleo padre y el estado excitado de su núcleo hijo fue una vez un profundo enigma de la ciencia,

especialmente debido a que, por nuestra incapacidad para detectarla, parecía representar una excepción a las leyes de conservación de masa y energía y conservación del momento lineal y angular. En la actualidad ha quedado bien establecido que las partículas β que salen del núcleo con una energía menor que la máxima, es decir, las representadas por las flechas (*b*), (*c*), (*d*), etc., estan acompañadas por otra partícula llamada *neutrino*. El (neutrino/fotón γ) explica la diferencia de energía entre el estado *excitado* y el estado *base* del núcleo hijo en (*d*). El (neutrino/fotón γ) junto con la energía de la partícula β explica la diferencia de energía entre el núcleo padre en (*d*) y el estado *excitado* de su núcleo hijo.

* * * * *

fotón γ; neutrino.

22. Las partículas α, las partículas β y los fotones γ se han observado desde antes de 1900. El neutrino ha sido observado experimentalmente sólo desde mediados de la década de los cincuentas. Uno podría preguntarse por qué el neutrino no se había notado antes. Su masa no se conoce exactamente, pero se piensa que es menor que 1/1000 de la masa de un electrón. La emisión de un neutrino, por tanto tiene un efecto (despreciable/considerable) sobre la masa de un núcleo.

* * * * *

despreciable.

23. Asimismo, el neutrino no tiene carga eléctrica. Por tanto (es/no es) probable que interactúe con las partes cargadas de los átomos y moléculas en la forma que lo hacen las partículas α y β.

* * * * *

no es.

24. Se ha estimado que un neutrino tendría que atravesar muchas millas de plomo antes de que sea afectado apreciablemente por la interacción con otras partículas. Las oportunidades de observar la trayectoria de un neutrino en una cámara de niebla son (pequeñas/buenas).

* * * * *

pequeñas.

25. La emisión de partículas alfa afecta [(1) solamente al número

atómico/(2) solamente al número de masa/(3) al número atómico y al número de masa/(4) ni al número atómico ni al número de masa] del núcleo emisor. La emisión de partículas beta afecta [*escoja entre* (1), (2), (3) ó (4)]. La emisión de neutrinos afecta [*escoja entre* (1), (2), (3) ó (4)].

* * * * *

(3); (1); (4).

26. Panel 24. figura 1. La energía representada por las flechas punteadas es la energía de (partículas β/fotones γ/neutrinos). Conforme el núcleo (a) cambia al estado excitado de su núcleo hijo, emite (un neutrino/un neutrino y un fotón γ/un neutrino y una partícula β/una partícula β/un fotón γ).

* * * * *

neutrinos; una partícula β.

27. Panel 24, figura 1. Conforme el núcleo hijo de (a) cambia de su estado excitado a su estado base, emite (un neutrino/un neutrino y un fotón γ/un fotón γ/una partícula β y un neutrino/una partícula β y un fotón γ).

* * * * *

un fotón

28. Conforme el núcleo (b) cambia al estado base de su núcleo hijo, emite primero (un neutrino/un neutrino y una partícula β/una partícula β/un fotón γ y un neutrino/una partícula β y un fotón γ). Después el núcleo hijo cambia de su estado excitado a su estado base emitiendo (una partícula β/un neutrino/un fotón γ/un fotón γ y un neutrino/una partícula β y un neutrino).

* * * * *

un neutrino y una partícula β; un fotón γ.

29. La masa de un neutrino es (igual a/mucho menor que/mayor que) la masa de un electrón. (Está/no está) cargado, e interactúa (más/menos) rápidamente con la materia que la partícula α, la partícula β, o el fotón γ.

* * * * *

mucho menor que: no está; menos.

30. Panel 24. La figura 2 es un dibujo que representa cómo cambia un núcleo naturalmente radiactivo a un núcleo hijo por medio de la emisión de partículas β. El neutrino, la partícula β y el fotón γ (son/no son) emitidos todos al mismo tiempo.

* * * * *

no son.

31. Panel 24, figura 2. Cuando un núcleo padre cambia primero a un estado excitado de un núcleo hijo y después al estado base del núcleo hijo, las partículas emitidas en el primer paso son la_____ y el_____.

* * * * *

En cualquier orden: partícula β, neutrino.

32. Panel 24, figura 2. Cuanto mayor sea la energía de la partícula β emitida, (mayor/menor) será la energía del neutrino emitido. Cuando la partícula β tiene la energía máxima representada en la columna (*a*) de la figura 1, (se/no se) emite un neutrino.

* * * * *

menor; no se.

33. Para un isótopo radiactivo particular, las energías de las partículas α (son/no son) uniformes. La emisión de partículas alfa (puede/no puede) estar seguida por la emisión de un fotón γ del núcleo hijo; (se/no se) emite un neutrino junto con las partículas α.

* * * * *

son; puede; no se.

34. Las emanaciones de partículas α y β a menudo son seguidas (en aproximadamente 10^{-12} segundos) por la emisión de_____ conforme el núcleo hijo_____ (*completar*). La emisión de partículas β suele ser acompañada de la emisión de un_____

* * * * *

fotón γ; cambia de un estado excitado al estado base; neutrino.

35. En el proceso completo de un núcleo radiactivo particular que cambia al estado excitado de un núcleo hijo y después al estado base del núcleo hijo, ¿cuáles de los siguientes conjuntos de partículas pueden emitirse? Seleccione los que se puedan aplicar.

(1) partícula α, partícula β, neutrino
(2) partícula α, neutrino, fotón γ
(3) partícula β, neutrino, fotón γ
(4) partícula α, fotón γ

* * * * *

(3); (4).

36. La emisión de partículas beta se llama a menudo *decaimiento beta.* Se ha observado que los neutrones libres (es decir, aquellos que no están ligados a un núcleo) emiten un electrón y en esta forma producen un protón como una partícula hijo. El decaimiento de neutrones libres (es/no es) una forma del decaimiento beta.

* * * * *

es.

37. Un neutrón sufre el decaimiento beta cuando emite una partícula_____y se convierte en un_____.

* * * * *

β; protón.

38. Representaremos un neutrón con el símbolo ${}_0n^1$. Como un protón es el núcleo del isótopo del hidrógeno-1, utilizamos ${}_1H^1$ para representar un protón en las ecuaciones. Escriba una ecuación que describa el decaimiento beta de neutrones.

* * * * *

${}_0n^1 \rightarrow {}_1H^1 + {}_{-1}e^0$.

39. ${}_0n^1 \rightarrow {}_1H^1 + {}_{-1}e^0$. Estrictamente hablando, esta ecuación debe también contener un neutrino en el lado derecho, pero como el neutrino no tiene_____y solamente una_____despreciable, lo eliminaremos salvo que tengamos que explicar la diferencia total en la_____entre el neutrón y su protón hijo.

* * * * *

carga; masa; energía.

40. El decaimiento beta de neutrones sugiere que la emisión de una partícula β por un núcleo radiactivo puede ser un mecanismo

de acuerdo con el cual uno de los_____del núcleo es cambiado a un_____.

* * * * *

neutrones; protón.

41. Cuando un isótopo radiactivo emite una partícula α o una partícula β, se convierte en un isótopo de otro elemento. Cuando el núcleo de un isótopo de radio emite una partícula α, el isótopo (continúa siendo/deja de ser) siendo un isótopo del radio.

* * * * *

deja de ser.

42. El tiempo necesario para que *un medio* de los núcleos que se encontraban presentes originalmente en determinado isótopo cambien debido a la emanación de partículas α y β, recibe el nombre de *vida media* de ese isótopo particular y proporciona una medida de la rapidez del decaimiento radiactivo.

1.0×10^{-3} g de torio-234 tarda 24 días en decaer radiactivamente a un punto en donde solamente queda 0.5×10^{-3} g de torio. La vida media del torio-234 es de (24/12) días.

* * * * *

24 días.

43. La vida media del polonio-218 es de 3 minutos. A los 3 minutos quedan_____g de una cantidad original de 4.0×10^{-5} g de polonio.

* * * * *

2.0×10^{-5}.

44. La vida media del bismuto-210 es de 5 días. Supongamos que se principia con 5 000 átomos de este isótopo. A los 5 días quedan aproximadamente_____átomos de este isótopo; después de otros 5 días quedan aproximadamente_____átomos de polonio-210.

* * * * *

2500; 1250.

45. El isótopo plomo-210 decae radiactivamente con una rapidez

que deja solamente la mitad de la masa original del isótopo al final de 22 años. 22 años es la_____del plomo-210.

* * * * *

vida media.

46. La vida media de un isótopo radiactivo es una medida de _____con que decae. La vida media de un isótopo radiactivo se mide en unidades de (masa/tiempo).

* * * * *

rapidez; tiempo.

47. Cuando un núcleo radiactivo ha decaído al estado base de un núcleo hijo, ocurre a menudo que el núcleo hijo es en sí naturalmente radiactivo y a su vez decae radiactivamente para formar un nuevo núcleo. Este proceso puede pasar a través de muchos pasos para formar una serie de generaciones de núcleos cada una relacionada con la siguiente dentro de la línea en la forma de padre e hijo.

Examine la tabla de isótopos dada en el panel 25. Cada isótopo está relacionado con el anterior en la forma de (padre a hijo/hijo a padre). Esta tabla (describe/no describe) una serie radiactiva.

* * * * *

hijo a padre; describe.

48. Panel 25. Este es solamente uno de los tres grupos de isótopos en los cuales cada miembro está relacionado con el precedente en la forma de hijo con respecto al núcleo padre. Cada uno de estos grupos se llama una_____.

* * * * *

serie radiactiva.

49. Panel 25. Cada una de las tres series de isótopos radiactivos termina con un isótopo (estable/naturalmente radiactivo) del *plomo*. La serie mostrada en este panel se llama la serie del *uranio*. La serie del uranio principia con el isótopo_____y termina con el isótopo_____. (Ténganse presentes los números de *masa* que deben emplearse para especificar los isótopos de los elementos.)

* * * * *

estable; uranio-238; plomo-206.

50. Las otras series de los isótopos, naturalmente radiactivos, son la serie del torio y la serie del actinio. Cada una de éstas termina con un isótopo estable del_____.

* * * * *

plomo.

51. Panel 25. Examine los isótopos de esta serie. (Es/no es) cierto que *todos* los isótopos del plomo son estables. Las vidas medias de todos los isótopos de una serie radiactiva son (las mismas/diferentes).

* * * * *

no es; diferentes.

52. Panel 25. La serie del uranio es representativa de todas las tres series radiactivas. Cada serie consiste en isótopos de (el mismo elemento/diferentes elementos). Todos los isótopos de una serie con la excepción del (primero/último) son naturalmente radiactivos.

* * * * *

diferentes; último.

53. Panel 25. El examen de las vidas medias de esos isótopos de esta serie indica que las vidas medias de los isótopos radiactivos varían en un intervalo (reducido/muy amplio).

* * * * *

muy amplio (en esta serie varía desde 10^{-4} seg hasta 10^{9} años; en general, se han observado vidas medias tan cortas como 10^{-11} seg y tan grandes como 10^{15} años).

54. Los neutrones libres tienen una vida media promedio de 12 minutos. Al final de 12 minutos_____(*fracción*) de los neutrones en un haz de un reactor nuclear se habrán convertido en protones.

* * * * *

la mitad.

55. Un neutrón libre se convierte en un protón emitiendo una partícula_____. La vida media promedio de un neutrón libre es de ——— minutos.

* * * * *

β; 12.

56. *Repaso.* Cuando un núcleo naturalmente radiactivo cambia a un estado *excitado* de su núcleo hijo emite [(1) un fotón γ/(2) una partícula α y un fotón γ/(3) una partícula α y una partícula β/(4) una partícula α/(5) una partícula β y una neutrino/(6) una partícula β y un fotón γ] (*escoja cualquiera que se aplique*).

* * * * *

(4); (5).

57. *Repaso.* Describa el proceso según el cual los fotones γ son emitidos por los núcleos.

* * * * *

Cuando un núcleo hijo pasa de un estado excitado a su estado base.

58. *Repaso.* El decaimiento de un neutrón en un protón, un electrón, y posiblemente un neutrino, recibe el nombre de decaimiento beta_____, y es el mecanismo por medio del cual un _____en el núcleo de un isótopo radiactivo pasa a un _____.

* * * * *

del neutrón; neutrón; protón.

59. *Repaso.* La masa de un neutrino es [(1) un valor comprendido entre la masa de un electrón y la masa de un protón/(2) igual a la masa de un nucleón/(3) igual a la masa de un electrón/(4) mayor que la masa de un protón/(5) mucho menor que la masa de un electrón]. La carga de un neutrino es la misma que la carga de (un protón/una partícula α/una partícula β/ un neutrón).

* * * * *

(5); un neutrón.

60. *Repaso.* La función de la energía del neutrino en la emisión de una partícula β de un isótopo radiactivo es explicar la energía que falta cuando la partícula β no tiene su (máxima/mínima) energía. Un neutrino (siempre/algunas veces/nunca) acompaña a una emisión de partículas α.

* * * * *

máxima; nunca.

61. *Repaso.* Supongamos que compra 200 g de un isótopo radiactivo

que tiene una vida media de 10 días. ¿Cuántos gramos de este isótopo quedarán a los 30 días?

* * * * *

A los primeros 10 días 100 g.
A los segundos 10 días: 50 g.
A los terceros 10 días: 25 g.

62. *Repaso.* Un grupo de isótopos radiactivos dispuestos en un orden tal que cada isótopo hijo del que le precede inmediatamente y que termina con un isótopo estable recibe el nombre de_____ _____. Existen tres grupos de isótopos naturalmente radiactivos y cada uno termina en un isótopo estable del_____

* * * * *

serie radiactiva; plomo.

63. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?
(1) Todos los isótopos del plomo son estables.
(2) Todos los isótopos hijos son estables.
(3) Todos los isótopos de una serie radiactiva tienen la misma vida media.
(4) Los neutrones libres son naturalmente radiactivos.

* * * * *

(4).

Sección 4. Defecto de masa y energía de amarre

1. Las masas de los isótopos se miden en forma conveniente en unidades llamadas *unidades de masa atómica* (uma). La uma se define como $\frac{1}{12}$ de la masa del isótopo carbono-12. Esto significa que la masa isotópica de un átomo de carbono-12 es_____uma.

* * * * *

12.

2. Un isótopo es (un átomo/el núcleo de un átomo). Una masa isotópica (incluye/no incluye) la masa de los electrones asociados con el isótopo.

* * * * *

un átomo; incluye.

3. Las masas isotópicas en uma se miden con relación a la masa del isótopo _____—12.

* * * * *

carbono.

4. 1 uma = 1.66×10^{-27} kg. La masa de el isótopo carbono-12 es _____kg. Esta es la masa de sus (neutrones/protones/neutrones y protones/neutrones, protones y electrones).

* * * * *

(12) $(1.66 \times 10^{-27}\ \text{kg}) = 1.99 \times 10^{-26}$ kg.
neutrones, protones y electrones.

5. La masa del isótopo carbono-12 es 1.99×10^{-26} kg. La masa de sus electrones es 5.46×10^{-30} kg. La masa de los electrones es una porción (considerable/despreciable) de la masa isotópica de un átomo.

* * * * *

despreciable (5.46×10^{-30} es aproximadamente 3/10,000 de 1.99×10^{-26}).

6. La masa de un electrón es 9.1×10^{-31} kg. Esto es equivalente a _____uma.

* * * * *

$$\frac{9.1 \times 10^{-31}\ \text{kg}}{1.66 \times 10^{-27}\ \text{kg/uma}} = 5.5 \times 10^{-4}\ \text{uma}$$

7. Anteriormente en este texto introdujimos la ecuación de Einstein para la equivalencia entre la masa y la energía. La energía E, asociada con una masa m la proporciona la ecuación E =_____.

* * * * *

mc^2.

8. Las equivalencias masa-energía serán importantes consideraciones en lo que sigue. Específicamente, será útil conocer la energía equivalente de una unidad de masa atómica.

Utilice la ecuación masa-energía para calcular (en joules) la energía equivalente de 1 uma.

* * * * *

$E = mc^2$
$m = 1 \text{ uma} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
$E = (1.66 \times 10^{-27} \text{ kg})(9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2)$
$= 1.49 \times 10^{-10} \text{ joule}$

9. 1 uma $= 1.49 \times 10^{-10}$ joule
1 joule $= 6.25 \times 10^{18}$ ev
1 ev $= 10^{-6}$ Mev
Calcule la energía equivalente de 1 uma en Mev.

* * * * *

1 uma $= (1.49 \times 10^{-10} \text{ joule})(6.25 \times 10^{18} \text{ ev/joule})(10^{-6} \text{ MeV/ev})$
$= 931$ Mev.

10. 1 uma = 931 Mev. Esta es una relación importante y muy útil que debe aprenderse de memoria.

Anteriormente calculamos la masa de un electrón que era 5.5×10^{-4} uma. La energía asociada con la masa de un electrón es_____ Mev.

* * * * *

1 uma = 931 Mev.
5.5×10^{-4} uma $= (5.5 \times 10^{-4} \text{ uma})(931 \text{ MeV/uma})$.
$= 0.51$ Mev

11. Consulte el panel 26. Esta es una tabla de algunas masas isotópicas. Note que el número de masa y la masa isotópica de un isótopo (son/no son) las mismas. El número de masa representa el número de _____dentro del núcleo del isótopo; la masa isotópica es una medida de la masa del isótopo con relación a la masa del isótopo _____.

* * * * *

no son; nucleones; carbono-12.

12. Panel 26. Las masas isotópicas dadas aquí son las masas de átomos neutros y representan, por tanto, la masa total de los (protones/neutrones/protones y neutrones/protones, neutrones y electrones) del átomo que se considere.

* * * * *

protones, neutrones y electrones.

13. Panel 26. El *deuterio* es un isótopo del elemento hidrógeno, y algunas veces recibe el nombre de hidrógeno pesado, debido a la adición al protón y al electrón que constituyen el hidrógeno simple ($_1H^1$), de un _____dentro de su núcleo.

* * * * *

neutrón.

14. Panel 26. Se encontró experimentalmente que la masa isotópica del deuterio es_____uma (de esta tabla). Comparemos ésta con la suma de las masas isotópicas de sus partes, empleando la masa isotópica de $_1H^1$ para representar la masa del protón y el electrón. La suma de las masas de las partes del deuterio es_____uma. La masa isotópica del deuterio es_____uma (menor/mayor) que la suma de las masas de sus componentes.

* * * * *

2.01410
$_1H^1$: 1.00782
$_0n^1$: 1.00867
2.01649
— 2.01410
0.00239 uma menos.

15. La masa observada de un isótopo es siempre menor que la suma de las masas de sus protones, neutrones y electrones componentes. La diferencia recibe el nombre de *defecto de masa.* La energía equivalente del defecto de masa es la energía necesaria para traer a un punto común a estas partículas desde una separación infinita y recibe el nombre de energía de amarre del isótopo. El defecto de masa del deuterio es de_____uma, y la *energía de amarre* del deuterio es_____Mev.

* * * * *

0.00239 uma (del cuadro 14)
E_B = (0.00239 uma) (931 Mev/uma)
= **2.23 Mev.**

16. 2.23 Mev. es la_____del deuterio; 0.00239 uma es el_____del deuterio.

* * * * *

energía de amarre; defecto de masa.

17. El defecto de masa de un isótopo es la diferencia entre_____

_____

_____

La energía de amarre de un isótopo es la energía necesaria para_____

_____

* * * * *

la masa del isótopo y la suma de las masas de sus neutrones, protones y electrones.
Traer los nucleones componentes y electrones a un punto común desde una separación infinita.

18. Una definición equivalente y útil de la energía de amarre de un isótopo *es la energía requerida para disociar un isótopo en sus nucleones y electrones componentes.*

Comparada con la energía de amarre del isótopo como un todo, la energía requerida para sacar solamente los electrones (la energía de amarre *electrónico*) es *despreciable.* Para la mayoría de los propósitos, la energía requerida para disociar los nucleones (la energía nuclear de amarre) (es/no es) igual a la energía de amarre del isótopo.

* * * * *

es.

19. La energía de amarre nuclear del deuterio es_____Mev. Comparada con la energía de amarre isotópico del deuterio, la energía necesaria para disociar su electrón del átomo es (apreciable/despreciable).

* * * * *

2.23 Mev; despreciable.

20. El núcleo de un átomo de deuterio recibe el nombre de deuterón. Un deuterón consiste en dos_____un_____y un _____.

* * * * *

nucleones; *en cualquier orden:* protón, neutrón.

21. Un efecto llamado *fotodesintegración del deuterón* ocurre cuando un deuterón absorbe suficiente energía para separar su neutrón y su protón. La energía mínima que se necesita para hacer esto es la

_____del deuterio. Un fotón γ con una energía de 3 Mev (puede/no puede) producir la fotodesintegración de un deuterón

* * * * *

energía de amarre; puede.

22. Una característica importante de cualquier núcleo es su *energía de amarre por nucleón.* Esta es la relación de su energía de amarre a su número de masa $(E_B)/A$. La energía de amarre por nucleón de un deuterón es_____Mev/nucleón

* * * * *

Para $_1H^2$: $A = 2$

$E_B = 2.23$ Mev

$$E_B = \frac{2.23}{A} = \frac{1.11}{2} \text{ Mev/nucleón}$$

23. Panel 26. La masa isotópica del helio-4 es_____uma. Un átomo de $_2He^4$ consiste en —— electrones, —— protones y —— neutrones. En general, utilizamos la masa isotópica de $_1H^1$ para representar la suma de un protón y un electrón. La suma de las masas de estos componentes $_1H^1$ en el $_2He^4$ es_____uma; la suma de las masas de los neutrones es_____uma.

* * * * *

4.00260;2;2;2; 2(1.00782) = 2.01564; 2(1.00867) = 2.01734

24. Utilice los datos del cuadro anterior para calcular el defecto de masa del isótopo helio-4 y su energía de amarre nuclear.

* * * * *

Suma de las masas de nucleones y electrones:	2.01564
	2.01734
	4.03298
Masa isotópica del $_2He^4$:	—4.00260
defecto de masa. =	0.03038 uma

E_B = (defecto de masa) (931 Mev)

= (0.03038) (931 MeV)

= **28.28 Mev**

(Técnicamente, ésta es la energía de amarre isotópica, pero debido a que la energía de amarre electrónica es despreciable, la energía

de amarre nuclear es prácticamente igual a la energía de amarre isotópica).

25. Utilice los datos del cuadro 24 para calcular la energía de amarre por nucleón para el $_2He^4$.

* * * * *

E_B = 28.28 Mev

A = 4 nucleones

$$\frac{E_B}{A} = \frac{28.28 \text{ Mev}}{4 \text{ nucleones}} = \mathbf{7.07 \text{ Mev/nucleón}}$$

26. La energía de amarre por nucleón para un núcleo es una medida conveniente de la estabilidad del núcleo. Si comparamos la estabilidad de los núcleos de $_1H^2$ y $_2He^4$ *con respecto a la disociación completa de sus nucleones,* el núcleo $_2He^4$ es (más/menos) estable que el núcleo de $_1H^2$.

* * * * *

más.

27. Panel 26. Calcule la energía de amarre por nucleón del litio-6.

* * * * *

$_3Li^6$: 6.01513 uma $3(_1H^1)$: 3.02346 uma

$3(_0n^1)$: 3.02601 uma

6.04947

−6.01513

defecto de masa = 0.03434

E_B = (0.03434) (931) = 31.97 Mev.

$$\frac{E_B}{A} = \frac{31.97 \text{ Mev}}{6 \text{ nucleones}} = \mathbf{5.33 \text{ Mev/nucleón}}$$

28.

Isótopo	$\frac{E_B}{A}$ en Mev/nucleón
$_1He^2$	1.11
$_2He^4$	7.07
$_3Li^6$	5.33

Con respecto a la disociación *completa* de nucleones, el núcleo de

litio-6 es (más/menos) estable que el núcleo de heilo-4 y (más/menos) estable que el núcleo de hidrógeno-2 (deuterio).

* * * * *

menos; más.

29. Las estructuras nucleares que existen *no* se disocian *espontáneamente* en forma *completa* en sus nucleones individuales. Lo que algunas veces hacen espontáneamente es disociarse en un núcleo más pequeño y una partícula α. Esta disociación *incompleta* es del tipo que identificamos como isótopos_____.

* * * * *

naturalmente radiactivos.

30. Consideremos si la plata-107 es naturalmente radiactiva y emite una partícula α para formar rodio-103. En símbolos,

$_{47}Ag^{107} \xrightarrow{?} {}_{45}Rh^{103} + {}_{2}He^{4}$.

Calculamos la energía de amarre de la plata-107 con respecto a esta disociación incompleta particular restando la masa isotópica de la plata de la suma de las masas isotópicas de rodio-103 y $_{2}He^{4}$ y convirtiendo esta a energía.

Utilice el panel 26 para calcular la energía de amarre de la plata-107 con respecto al rodio-103 y una partícula α como partes componentes.

* * * * *

$_{47}Ag^{107}$: 106.9041 uma $_{45}Rh^{103}$: 102.9048

$_{2}He^{4}$: 4.0026

106.9074

−106.9041

defecto de masa = 0.0033 uma

$E_B = (0.0033)\ (931) =$ **3.1 Mev**

31. La energía de amarre de la $_{47}Ag^{107}$ con respecto a la disociación en $_{45}Ag^{103}$ y una partícula α es (positiva/negativa). Esto significa que el trabajo externo o la energía (es/no es) necesaria para producir esta disociación y que (ocurre/no ocurre) espontáneamente.

* * * * *

positiva; es; no ocurre.

32. $_{47}Ag^{107} \xrightarrow{?} {}_{45}Rh^{103} + {}_{2}He^{4}$. Para producir esta reacción el núcleo de Ag-107 debe absorber por lo menos 3.1 Mev de energía. El núcleo de Ag-107 (es/no es) estable con respecto a la disociación en una partícula α y un núcleo hijo, y por tanto (es/no es) naturalmente radiactivo.

* * * * *

es; no es.

33. Cuando la masa isotópica de un isótopo es menor que la suma de las masas isotópicas de una partícula α y un isótopo hijo "supuesto", la energía de amarre del isótopo original con respecto a la disociación de partículas α es (positiva/negativa) y la disociación ocurre [(1) espontáneamente/(2) solamente cuando el isótopo absorbe energía del exterior].

* * * * *

positiva; (2).

34. Panel 26. Calcule la energía de amarre del radio-226 con respecto a la disociación *completa* de sus nucleones.

* * * * *

$_{88}Ra^{226}$: 226.0254 uma $88(_{1}H^{1})$: 88.68816

$138(_{0}n^{1})$: 139.19646

227.88462

-226.0254

defecto de masa = 1.8592 uma

$E_B = (1.8592)(931) =$ **1731 Mev**

35. La energía de amarre del radio-226 con respecto a la disociación *completa* de su núcleo es (positiva/negativa). Un núcleo de radio-226 es (probable/poco probable) que se separe espontáneamente en sus 226 nucleones individuales.

* * * * *

postiva; poco probable.

36. $_{88}Ra^{226} \xrightarrow{?} {}_{86}Rn^{222} + {}_{2}He^{4}$. Calcule la energía de amarre del radio-226 con respecto a la disolución de una partícula α y un núcleo cleo hijo, radón-222. (Utilice el panel 26 para las masas isotópicas).

* * * * *

$_{88}Ra^{226}$: 226.0254 uma

$_{86}Rn^{224}$: 222.0175
$_{2}He^{4}$: 4.0026
226.0201
−226.0254
defecto de masa = −0.0053 uma

$E_B = (-0.0052)(931) = -4.83$ **Mev**

37. $_{88}Ra^{226} \xrightarrow{?} {}_{86}Rn^{222} + {}_{2}He^{4}$. La masa isotópica del radio-226 es (mayor que/menor que/igual a) la suma de las masas isotópicas del radón-222 y una partícula α. Su energía de amarre con respecto a la disociación en estas partes es (positiva/negativa) y la reacción descrita anteriormente ocurre [(1) espontáneamente/(2) solamente cuando $_{88}Ra^{226}$ absorbe suficiente energía del exterior].

* * * * *

mayor que; negativa; (1).

38. Cuando la energía de amarre de un isótopo con respecto a su disociación en una partícula α y un isótopo hijo es negativa, el isótopo es (estable/naturalmente radiactivo).

* * * * *

naturalmente radiactivo (hemos indicado esto solamente para la emisión de partículas α; lo mismo puede demostrarse para isótopos que son naturalmente radiactivos y emiten partículas β).

39. *Repaso.* 1 uma = _____ Mev; 1 uma = _____ kg.

* * * * *

931; 1.66×10^{-27}

40. *Repaso.* La masa isotópica de un neutrón es 1.00867 uma. Esta es su masa con relación a la masa de ese isótopo del _____ el cual tiene el número de masa _____. Calcule la energía equivalente de la masa de un neutrón en Mev.

* * * * *

carbono 12; (1.00867) (931) = 939 Mev.

41. *Repaso.* Utilice el panel 26 para calcular el defecto de masa, energía de amarre y energía de amarre por nucleón del helio-5 con respecto a la disociación *completa* del núcleo en sus nucleones.

* * * * *

$_2He^5$: 5.01229 uma $2(_1H^1)$: 2.01564
$3(_0n^1)$: 3.02501
5.04065
−5.01229
defecto de masa = 0.02836 uma

$E_B = (0.02836)(931) = 26.4$ Mev

$$\frac{E_B}{A} = \frac{26.4}{5} = \textbf{5.3 Mev/nucleón}$$

42. *Repaso.* La masa de un isótopo es siempre (mayor que/menor que/igual a) la suma de las masas de sus nucleones y electrones componentes.

* * * * *

menor que.

43. *Repaso.* La energía de amarre de un isótopo naturalmente radiactivo con respecto a la disolución de un isótopo hijo y una partícula α siempre es (positiva/negativa). La masa de un isótopo naturalmente radiactivo es (mayor que/menor que/igual a) la suma de las masas de la partícula α que emite y su isótopo hijo.

* * * * *

negativa; mayor que.

44. *Repaso.* El valor de E_B/A para el isótopo X es 7.6 Mev/nucleón; el valor de E_B/A para el isótopo Y es 5.3. El isótopo Y es (más/menos) estable que el isótopo X con respecto a la disociación *completa.*

* * * * *

menos.

Sección 5 *Otras transformaciones nucleares: radioisótopos*

Nota: Si el estudiante ha llevado un curso de química, puede recordar que ciertas reacciones químicas ocurren con la intervención de muy poca o ninguna energía del exterior. Un ejemplo es el peróxido de hidrógeno, el cual se descompone espontáneamente en agua y oxígeno y emite energía en la forma de calor durante el proceso. Otras reacciones químicas exigen se suministre energía al sistema en forma continua para que ocurra la reacción. Un ejemplo es el uso de energía en la for-

ma de una corriente eléctrica para descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno. Existen tipos semejantes de reacciones nucleares. Hasta ahora hemos dedicado nuestro tiempo casi exclusivamente a las reacciones nucleares *espontáneas*. Estudiaremos ejemplos de otros tipos en esta y en la siguiente sección.

1. Ciertas reacciones nucleares ocurren espontáneamente; otras ocurren solamente cuando se proporciona suficiente energía a los núcleos que intervienen en la reacción.

(1) ${}_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_{2}He^{4}$ (decaimiento radiactivo del uranio-238)

(2) ${}_{1}H^{2} + \gamma \rightarrow {}_{1}H^{1} + {}_{0}n^{1}$ (fotodesintegración de un deuterón)

¿Cuál de estas ecuaciones describe una reacción nuclear espontánea? ¿Cuál describe una reacción que ocurre solamente cuando se suministra suficiente energía al núcleo?

* * * * *

(1); (2).

2. (1) ${}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{1}H^{1} + {}_{-1}e^{0}$ (+ neutrino)

(2) ${}_{1}H^{2} + \gamma \rightarrow {}^{1}H^{1} + {}_{0}n^{1}$

En la ecuación [1), 2)] la energía se absorbe en el proceso de descomposición; este (es/no es) un ejemplo de radiactividad natural.

* * * * *

(2) (El fotón γ proporciona la energía).
no es.

3. El aire consiste aproximadamente en 80 por ciento de nitrógeno, 20 por ciento de oxígeno, y trazas de otros gases. Las partículas alfa que atraviesan una cámara de niebla llena de aire hace muy pocas colisiones directas con los núcleos de los gases que están dentro de la cámara, pero cuando ocurre tal colisión es probable que sea con un núcleo de (nitrógeno/oxígeno/helio).

* * * * *

Nitrógeno.

4. El nitrógeno-14 es un isótopo estable; (es/no es) naturalmente radiactivo y (es probable/no es probable) que cambie su estructura y contenido nuclear espontáneamente.

* * * * *

no es; no es probable.

5. Consulte el panel 27. En la figura 1 una partícula α con una energía cinética de aproximadamente 7 Mev choca con un núcleo de nitrógeno. 14. El resultado es un núcleo *compuesto* que consiste de todos los nucleones de la partícula α y el nitrógeno-14 es un estado *anormalmente excitado.* El núcleo compuesto contiene_____protones, y es, por tanto, un núcleo de_____ (utilice el panel 23).

Como un núcleo compuesto está usualmente en un estado altamente excitado cabe esperar que (absorba/emita) una partícula (o un fotón) en el proceso de su paso a un estado menos excitado o al estado base de un núcleo hijo.

* * * * *

9 (dos de la partícula α y 7 del nitrógeno).
flúor; emite.

6. Panel 27, figura 1. El núcleo que se forma cuando una partícula α de alta velocidad choca con un núcleo de nitrógeno-14 recibe el nombre de núcleo._____. (Es/No es) estable. Podemos describir esta parte de la interacción por medio de la ecuación nuclear.
$_2He^4 + {}_7N^{14} \rightarrow$ _____.

* * * * *

compuesto; No es; $_9F^{18}$ (existen 18 nucleones, 14 del $_7N^{14}$ y cuatro del $_2He^4$).

7. Panel 27, figura 1. El núcleo compuesto existe como una entidad única durante un tiempo muy breve (menor que 10^{-19} seg.); pasa a un estado más estable emitiendo un protón ($_1H^1$) con una energía cinética de aproximadametne 6 Mev. Podemos describir esta parte de la reacción con la siguiente ecuación (consulte los paneles 22 y 23 cuando sea necesario):
$_9F^{18} \rightarrow$ _____ $+ {}_1H^1$.

* * * * *

$_8O^{17}$

8. Panel 27, figura 1. $_2He^4 + {}_7N^{14} \rightarrow (_9F^{18}) \rightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1$.
El núcleo compuesto está encerrado en paréntesis para indicar que es altamente inestable y existe durante un tiempo muy breve. Los productos permanentes de esta interacción son_____y_____
La reacción ocurre solamente cuando el_____tiene suficiente energía para penetrar el núcleo de_____.
En cualquier orden: $_8O^{17}$, $_1H^1$; $_2He^4$; (o una partícula α).
$_7N^{14}$ (o nitrógeno-14.)

9. Los símbolos en el primer miembro de una ecuación nuclear representan los *reactantes;* los símbolos en el segundo miembro representan los *productos* de la reacción nuclear.

En la ecuación que describe la transformación del nitrógeno-14 indicada en el panel 27, figura 1. $_1H^1$ es uno de los_____y $_2He^4$ es uno de los_____.

* * * * *

productos; reactantes.

10. $_1H^2 + \gamma \rightarrow {}_1H^1 + {}_0n^1$. En esta ecuación, los reactantes son_____ y_____; los productos son_____y_____.

* * * * *

En cualquier orden: $_1H^2$, γ; en cualquier orden: $_1H^1$, $_0n^1$.

11. (1) $_2He^4 + {}_7N^{14} \rightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1$
(2) $_1H^2 + \gamma \rightarrow {}_1H^1 + {}_0n^1$
(3) $_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_2He^4$.

Las ecuaciones (1) y (2) describen transformaciones nucleares *inducidas* del nitrógeno-14 y del deuterio; estas reacciones ocurren [(1) espontáneamente (2) solamente cuando se absorbe suficiente energía del exterior]. La ecuación (3) describe una transformación de un núcleo a través de_____natural. Este es un proceso que ocurre [(1) espontáneamente (2) solamente cuando se absorbe suficiente energía del exterior].

* * * * *

(2); radiactividad; (1).

12. Utilice los paneles 22 y 23. Las partículas α de alta velocidad algunas veces penetran los núcleos de magnesio-24 cuando hacen impactos directos. El núcleo compuesto que se forma cuando esto ocurre es_____. Escriba la ecuación nuclear para este estado de esta transformación nuclear particular.

* * * * *

Silicio-28; $_2H^4 + {}_{12}Mg^{24} \rightarrow {}_{14}Si^{28}$

13. Paneles 22 y 23. El núcleo compuesto $_{14}Si^{28}$ formado en esta interacción decae casi inmediatamente emitiendo un protón. Escriba la ecuación nuclear que describe esta parte de la transformación nuclear.

* * * * *

$_{14}Si^{28} \rightarrow {}_{13}Al^{27} + {}_1H^1$.

14. Los productos resultantes de la transformación del $_{12}Mg^{24}$ por el bombardeo con partículas α son _____ y _____.

* * * * *

$_{13}Al^{27} + {}_1H^1$.

15. Complete las siguientes ecuaciones:
(1) $_1H^2 + \gamma \rightarrow$ _____ + _____
(2) $_2He^4 + {}_7N^{14} \rightarrow$ _____ + _____
(3) $_{92}U^{238} \rightarrow$ _____ + $_2He^4$
(4) $_2He^4 + {}_{12}Mg^{24} \rightarrow$ _____ + _____

* * * * *

(1) $_1H^1 + {}_0n^1$;
(2) $_8O^{17} + {}_1H^1$;
(3) $_{90}Th^{234}$; (4) $_{13}Al^{27} + {}_1H^1$.

16. Cuando elementos diferentes son bombardeados con partículas α de la misma energía cinética, se encuentra que un menor número de transformaciones nucleares de este tipo ocurren conforme el número atómico de los elementos bombardeados aumenta. Esto es razonable debido a que los números atómicos de los elementos aumentan sus cargas nucleares (aumentan/disminuyen) y las partículas α que bombardean necesitan (mayor/menor) energía cinética para penetrarlas.

* * * * *

aumentan; mayor.

17. La transformación nuclear resultante del bombardeo por partículas α de fuentes naturalmente radiactivas no ocurre arriba del elemento potasio; esto indica que la (masa/carga) nuclear de los elementos después del potasio es suficientemente grande para prevenir la penetración por partículas α de tal fuente.

* * * * *

carga.

18. La transformación de núcleos por el bombardeo con partículas α ocurre cuando la partícula α tiene suficiente energía para vencer a la repulsión eléctrica del núcleo y cuando hace un impacto directo. Tales transformaciones ocurren relativamente (con frecuencia/rara vez).

* * * * *

rara vez (quizá se producen 10 protones entre 10^6 partículas α para el bombardeo con partículas α de los elementos ligeros).

19. Cuando las partículas α de alta velocidad se utilizan para bombardear núcleos de berilio-9, las partículas α son absorbidas y los núcleos compuestos que se forman se observa que emiten una partícula que *no* tiene carga eléctrica y tiene una masa más o menos igual a la masa de un protón. Esta partícula es un_____ .

* * * * *

neutrón.

20. Panel 27. La fivura 2 es un diagrama que representa una partícula α de alta velocidad que choca directamente con un núcleo de berilio para formar un núcleo compuesto. Utilice los paneles 22 y 23 y exprese una ecuación nuclear que describa esta parte de la reacción.

* * * * *

$_2He^4 + {}_4Be^9 \rightarrow {}_6C^{13}$.

21. Panel 27, figura 2. El núcleo compuesto es un estado anormalmente excitado y casi inmediatamente en un núcleo de carbono y un_____.

* * * * *

12; neutrón.

22. 1) $_2He^4 + {}_4Be^9 \rightarrow {}_6C^{12} + {}_0n^1$
2) $_2He^4 + {}_7N^{14} \rightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1$
En 1) un núcleo de _____ se transforma en un núcleo de _____
En 2) un núcleo de _____ se transforma en un núcleo de _____

* * * * *

berilio-9; carbono-12; nitrógeno-14; oxígeno-17.

23. 1) $_2He^4 + {}_4Be^9 \rightarrow {}_6C^{12} + {}_0n^1$
2) $_2He^4 + {}_7N^{14} \rightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1$
Estas transformaciones nucleares ocurren solamente cuando el ($_1H^1$/ $_0n^1$/$_2He^4$) tiene suficiente energía para penetrar en el núcleo original.

* * * * *

$_2He^4$.

24. Paneles 22 y 23. Cuando una partícula α de alta velocidad pene-

tra el núcleo del boro-11, se forma un núcleo compuesto el cual decae casi inmediatamente emitiendo un neutrón. Exprese la ecuación nuclear que describe esta transformación. Puede eliminar el núcleo compuesto o incluirlo dentro de un paréntesis.

* * * * *

$_2He^4 + {}_5B^{11} \rightarrow {}_7N^{14} + {}_0n^1$, ó $_2He^4 + {}_5B^{11} \rightarrow ({}_7N^{15}) \rightarrow {}_7N^{14} + {}_0n^1$

25. Las transformaciones nucleares que hemos examinado en esta sección proporcionan métodos para producir protones o neutrones libres y con alta velocidad. Para producir protones libres de alta energía bombardeamos isótopos como el nitrógeno-14 con _____ (*completar*). Para producir neutrones libres bombardeamos boro-11 o berilio-9 con _____ (*completar*).

* * * * *

partículas α de alta velocidad (energía); partículas α de alta velocidad (energía).

26. Se coloca un límite superior a los elementos cuyos núcleos pueden ser transformados cuando son bombardeados por partículas α de fuentes naturalmente radiactivas por el hecho de que _____ (*completar*).

* * * * *

para elementos posteriores al potasio la carga nuclear de un elemento es suficientemente grande para evitar la penetración del núcleo por una partícula α de una fuente naturalmente radiactiva. (Las partículas alfa pueden acelerarse *artificialmente* hasta alcanzar energías que pueden producir transformaciones en elementos más pesados).

27. Un neutrón no tiene ninguna carga electrónica. Los neutrones (son/no son) repelidos por el campo eléctrico de un núcleo.

* * * * *

no son.

28. Hemos visto que las partículas α de fuentes naturalmente radiactivas no son eficientes para producir la transformación nuclear en elementos con números atómicos mayores que el potasio ($Z = 19$). (es/no es) probable que tal partícula penetre el núcleo de la plata-107 ($_{47}Ag^{107}$), pero (es/no es) probable que un neutrón lo penetre.

* * * * *

no es; es.

29. Cuando un neutrón (${}_0n^1$) penetra y es capturado por un núcleo, el número de masa del núcleo (aumenta/diminuye/permanece constante) y el número atómico (aumenta/disminuye/permanece constante).
${}_{47}Ag^{107} + {}_0n^1 \rightarrow$ _____

* * * * *

aumenta; permanece constante; ${}_{47}Ag^{108}$.

30. ${}_{47}Ag^{108}$ es un isótopo *artificial* de la plata, es decir, *no* existe en la naturaleza. La mayor parte de los isótopos artificiales son inestables y radiactivos. Describimos sus emanaciones como radiactividad_____ ${}_{47}Ag^{108}$ emite una partícula β (${}_{-1}e^0$) para producir cadmio. Utilice los paneles 22 y 23 para expresar una ecuación nuclear que describa este particular decaimiento radiactivo.

* * * * *

artificial; ${}_{47}Ag^{108} \rightarrow {}_{48}Cd^{108} + {}_{-1}e^0$

31. El bombardeo por neutrones del aluminio-27 produce dos productos: sodio-24 y una partícula α. El sodio-24 es radiactivo y tiene una vida media de aproximadamente 15 horas, emitiendo una partícula β. Exprese ecuaciones nucleares que describan estas transformaciones nucleares.

* * * * *

${}_{13}Al^{27} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{11}Na^{24} + {}_2He^4$
${}_{11}Na^{24} \rightarrow {}_{12}Mg^{24} + {}_{-1}e^0$

32. Algunas veces el bombardeo de los átomos estables existentes o de los isótopos produce a su vez isótopos que no suelen existir en la naturaleza. Los nuevos isótopos por lo general son radiactivos y reciben el nombre de *radioisótopos artificiales* (=isótopos radiactivos).
El sodio-24 no se encuentra en la naturaleza; el uranio-238 sí existe en forma natural. Ambos son radiactivos. (${}_{11}Na^{24}/{}_{92}U^{238}$) es el radioisótopo artificial.

* * * * *

${}_{11}Na^{24}$.

33. Cuando el oro-197 es bombardeado con neutrones, se produce un isótopo ${}_{79}Au^{198}$ el cual no se encuentra en la naturaleza y que emite

una partícula β después de una vida media de aproximadamente 3 días. Llamamos al oro-198 un radioisótopo _____.

* * * * *

artificial.

34. Cuando el cobre-63 es bombardeado con protones, uno de los productos es cobre-62, que es un radioisótopo con una vida media de aproximadamente 10 minutos.

$_{29}Cu^{62}$ produce el isótopo hijo $_{28}Ni^{62}$, ó

$_{29}Cu^{62} \rightarrow {}_{28}Ni^{62} +$ alguna otra partícula.

Cuando un núcleo radiactivo emite una partícula α ($_2He^4$), su número atómico se reduce en dos y su número de masa en cuatro. Cuando un núcleo radiactivo emite una partícula $\beta(_{-1}e^0)$, su número atómico aumenta en uno y su número de masa permanece constante.

Examinemos al $_{29}Cu^{62}$ y su isótopo hijo $_{28}Ni^{62}$ a la luz de estos hechos. El cobre-62 (emite/no emite) una partícula α; el cobre-62 (emite/no emite) una partícula β.

* * * * *

emite; no emite.

35. $_{29}Cu^{62} \rightarrow {}_{28}Ni^{62} + {}_{?}(\ \ )^{?}$

Los isótopos naturalmente radiactivos también emiten fotones γ del mismo modo que sus núcleos hijos los emiten cuando pasan de un estado excitado a sus estados base. La emisión del fotón γ (explica/no explica) el cambio de cobre-62 a níquel-62.

* * * * *

no explica.

36. $_{29}Cu^{62} \rightarrow {}_{28}Ni^{62} + {}_{?}(\ \ )^{?}$

Para explicar los números de masa del cobre-62 y del níquel-62 la partícula emitida debe tener un número de masa_____. Para explicar el cambio en los números atómicos la partícula emitida debe tener una carga de (+1/—1/0).

* * * * *

nulo; +1.

37. $_{29}Cu^{62} \rightarrow {}_{28}Ni^{62} + {}_{+1}(?)^{0}$. ¿Cumple el neutrino las condiciones

indicadas aquí para la partícula emitida cuando el cobre-62 decae a níquel-62?

* * * * *

¡No! El neutrino tiene una carga nula.

38. $_{29}Cu^{62} \rightarrow {}_{28}Ni^{62} + {}_{+1}(\ )^{0}$. La observación muestra que la partícula emitida aquí tiene *la masa de un electrón pero con carga opuesta.* Si al electrón emitido en el decaimiento de ciertos isótopos naturalmente radiactivos lo llamamos una *partícula β negativa,* la partícula emitida en la reacción nuclear descrita anteriormente puede razonablemente llamarse una partícula β _____.

* * * * *

positiva.

39. (1) $_{90}Th^{231} \rightarrow {}_{91}Pa^{231} + {}_{-1}e^{0}$
(2) $_{29}Cu^{62} \rightarrow {}_{28}Ni^{62} + {}_{+1}e^{0}$
La partícula emitida en (1) es una partícula_____ _____
la partícula emitida en (2) es una partícula_____ _____
$_{-1}e^{0}$ y $_{+1}e^{0}$ representan partículas con (la misma carga/cargas opuestas) y (la misma masa/diferentes masas).

* * * * *

β negativa; β positiva; cargas opuestas; la misma masa.

40. Ciertas interacciones (de las cuales el decaimiento del radioisótopo cobre-62 es solamente un ejemplo) producen partículas que tienen la *masa de un electrón* y una carga igual a una carga positiva elemental. Los físicos llaman a éstas *positrones.* En una reacción nuclear empleamos el símbolo _____ para representar a los positrones. Los positrones emitidos por los radioisótopos reciben el nombre de _____.

* * * * *

$_{+1}e^{0}$; partículas β positivas.

41. Un positrón tiene la misma masa que (un protón/un neutrino/un fotón γ/un electrón/un neutrón). Un positrón tiene la misma carga que (un protón/un neutrino/un fotón γ un electrón/un neutrón).

* * * * *

un electrón; un protón.

42. Una partícula elemental con la masa de un electrón y la carga asociada a un protón se llama un _____.

* * * * *

positrón.

43. Cuando el cobalto-59 absorbe un neutrón se convierte en el radioisótopo cobalto-60 con una vida media de aproximadamente 5 años. Produce el isótopo hijo estable níquel-60. Consulte los paneles 22 y 23 para los símbolos apropiados para el cobalto-60 y el níquel-60. La partícula emitida en la transformación de cobalto-60 y el níquel-60 es (una partícula α/un neutrón/una partícula β positiva/una partícula β negativa).

Exprese una ecuación nuclear que describa la transformación de cobalto-60 a níquel-60.

* * * * *

una partícula β negativa.
$_{27}Co^{60} \rightarrow {}_{28}Ni^{60} + {}_{-1}e^{0}$ (el cobalto-60 es un isótopo importante en la radioterapia del cáncer. En ese caso se usa *no* por la partícula β emitida, sino por los fotones γ de alta energía emitidos cuando el níquel-60 pasa a su estado base).

44. El nitrógeno-12 es un radioisótopo artificial que decae al isótopo estable carbono-12. La partícula emitida en esta transformación es (una partícula α/un neutrón/un protón/una partícula β positiva/una partícula β negativa).

Escriba una ecuación nuclear que describa esta transformación.

* * * * *

partícula β-positiva; $_{7}N^{12} \rightarrow {}_{6}C^{12} + {}_{+1}e^{0}$

45. Tengamos presente que la emisión de una partícula β negativa y un neutrino de un núcleo es un mecanismo por medio del cual un _____dentro del núcleo pasa a un_____.

* * * * *

neutrón; protón.

46. Bajo ciertas condiciones se sabe ahora que un protón ($_{1}H^{1}$) decae en un neutrón y un positrón. Esta transformación, al igual que el decaimiento β del neutrón, está a menudo acompañado por la emisión de un neutrino. Esto sugiere que la emisión de una partícula β po-

sitiva representa el cambio de un _____ en el núcleo de un radioisótopo a un _____.

* * * * *

protón; neutrón.

47. (1) ${}_0n^1 \rightarrow {}_1H^1 + {}_{-1}e^0 +$ neutrino

(2) ${}_1H^1 \rightarrow {}_0n^1 + {}_{+1}e^0 +$ neutrino

La ecuación [(1), (2)] describe el decaimiento β del neutrón, y explica la emisión de un electrón del núcleo de ciertos isótopos radiactivos. La ecuación [(1)/(2)] explica la emisión de un positrón de ciertos radioisótopos.

* * * * *

(1); (2).

48. Los radioisótopos (algunas veces/siempre/nunca) emiten partículas β positivas.

* * * * *

algunas veces; algunas veces.

49. Los isótopos *naturalmente* radiactivos nunca emiten partículas β (negativas/positivas).

* * * * *

positivas.

50. *Repaso.* Formule ecuaciones nucleares para las transformaciones descritas a continuación:

(1) El radioisótopo fósforo-30 decae al silicio-30.

(2) El isótopo radiactivo carbono-14 decae y produce el isótopo hijo nitrógeno-14.

(3) Una partícula α penetra el boro-11 para producir un núcleo compuesto el cual decae inmediatamente a nitrógeno-14 y otra partícula.

* * * * *

(1) ${}_{15}P^{30} \rightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_{+1}e^0$

(2) ${}_6C^{14} \rightarrow {}_7N^{14} + {}_{-1}e^0$

(3) ${}_2He^4 + {}_5B^{11} \rightarrow ({}_7N^{15}) \rightarrow {}_7N^{14} + {}_0n^1$

51. *Repaso.* ${}_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \rightarrow {}_{15}P^{30} + {}_0n^1$. En esta ecuación, los pro- _____.

ductos son _____ y _____; los reactantes son _____ y _____.

* * * * *

$_{15}P^{30}$ y $_{0}n^{1}$; $_{13}Al^{27}$ y $_{2}He^{4}$

52. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) Los radioisótopos siempre decaen emitiendo positrones.
(2) Todos los radioisótopos son estables.
(3) El positrón tiene la misma masa que un protón y la misma carga que el electrón.
(4) El decaimiento beta positivo ocurre solamente en isótopos naturalmente radiactivos.
(5) $_{2}He^{4} + {}_{6}C^{12} \rightarrow {}_{7}N^{15} + {}_{1}H^{1}$.
(6) $_{2}He^{4} + {}_{5}Be^{11} \rightarrow {}_{7}N^{14} + {}_{+1}e^{0}$

* * * * *

(5)

Sección 6. Gráfica N-Z de los isótopos
formas del decaimiento radiactivo
captura del electrón-K

1. Consulte el panel 28. La figura 1 es una gráfica de los isótopos (todos los isótopos estables y muchos isótopos radiactivos) graficados con el número de protones de sus núcleos sobre el eje horizontal y el número de neutrones sobre el eje vertical. El isótopo $_{92}U^{238}$ está representado en el punto que corresponde a _____ sobre el eje horizontal y a _____ sobre el eje vertical.

* * * * *

92; $N = A - Z = 238 - 92 = 146$.

2. Panel 28, figura 1. Los puntos negros representan isótopos estables. Los círculos abiertos representan isótopos radiactivos. La línea continua marcada $N = Z$ consiste en todos esos puntos en los cuales el número de neutrones en un núcleo es igual al número de protones. (Todos/algunos/ningunos) de los isótopos estables tienen números iguales de protones y neutrones.

* * * * *

algunos.

3. Panel 28, figura 1. Los isótopos estables que tienen $N = Z$ son isótopos con números atómicos (altos/bajos).

* * * * *

bajos.

4. Panel 28, figura 1. Una característica importante de esta gráfica es la relación de N a Z para isótopos particulares. Para $_1H^2$ y $_2He^4$ ambos isótopos estables, la relación $\frac{N}{Z}$ = ———. La relación $\frac{N}{Z}$ para el hierro-56. ($_{26}Fe^{56}$) es———. Siguiendo la lista, en el lugar del isótopo *estable* con el número atómico más alto, bismuto-209 ($_{83}Bi^{209}$), $\frac{N}{Z}$ = ———.

Conforme aumentan los números atómicos de los isótopos estables, la relación de neutrones a protones $\frac{N}{Z}$ (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

$\frac{1}{1} = \frac{2}{2} = 1$; $\frac{30}{26} = \frac{15}{13} = 1.16$; $\frac{126}{83} = 1.25$; aumenta

5. Panel 28. La figura 2 es una forma simplificada de la figura 1. La línea punteada está ocupada por isótopos *estables* en la figura 1. Esta recibe el nombre de *curva de estabilidad.* La pendiente de esta curva es la relación———, la cual (aumenta/disminuye/permanece constante) conforme aumenta Z.

* * * * *

$\frac{N}{Z}$; aumenta.

6. Panel 28. Las áreas sombreadas en ambos lados de la curva de la estabilidad en la figura 2 incluyen la mayor parte de los núcleos *radiactivos* mostrados en la figura 1. El hidrógeno-2 es un isótopo (estable/radiactivo); el hierro-56 es un isótopo (estable/radiactivo); el uranio-238 es un isótopo (estable/radiactivo).

* * * * *

estable; estable; radiactivo.

7. Panel 28. figura 2. ¿Cuál isótopo del estaño es estable de acuerdo con esta gráfica, $_{50}Sn^{126}$ ó $_{50}Sn^{120}$?

* * * * *

$_{50}Sn^{120}$ (se encuentra sobre la curva de estabilidad).

8. Panel 28, figuras 1 y 2. En general, los isótopos radiactivos tienden a decaer en forma tal que producen isótopos_____ ; es decir, isótopos que (están/no están) sobre la curva de estabilidad los cuales cambian a isótopos que (están/no están) sobre la curva de estabilidad.

* * * * *

estables; no están; están.

9. Panel 28, figuras 1 y 2. Los isótopos radiactivos que se encuentran *arriba y a la izquierda* de la curva de estabilidad tienen relaciones $\frac{N}{Z}$ que son demasiado (altas/bajas) para la estabilidad. Estos isótopos tienen (un exceso/una deficiencia) de neutrones.

* * * * *

altas; un exceso.

10. Panel 28, figuras 1 y 2. La plata-111 ($_{47}Ag^{110}$) es un radioisótopo que se encuentra arriba y a la izquierda de la curva de estabilidad. Esto significa que tiene un exceso de (neutrones/protones) y su isótopo hijo estará más cerca de la curva de estabilidad si la plata-111 decae de manera que [(1) reduce el número de protones y aumenta el número de neutrones (2) reduce el número de neutrones y aumenta el número de protones].

* * * * *

neutrones; (2).

11. Panel 28, figuras 1 y 2. La plata-111 tiene un exceso de neutrones. Su isótopo hijo se encontrará más cerca de la curva de estabilidad si la plata-111 emite una partícula que reduzca el número de neutrones y aumente el número de protones del núcleo. Este resultado se obtiene cuando la plata-111 emite (un fotón γ/una partícula β negativa/una partícula β positiva).

* * * * *

una partícula β negativa (en *muy raras* ocasiones los isótopos radiactivos que se encuentran arriba y a la izquierda de la curva de estabilidad emiten un neutrón, por ejemplo, $_{36}Kr^{86} + {}_{0}n^{1}$).

12. Panel 28, figuras 1 y 2. Los isótopos radiactivos que se encuentran arriba y a la izquierda de la curva de estabilidad decaen de tal manera que (aumentan/disminuyen) sus números atómicos.

* * * * *

aumentan.

13. Panel 28, figuras 1 y 2. Los isótopos radiactivos que se encuentran abajo y a la derecha de la curva de estabilidad tienen una relación $\frac{N}{Z}$ que es demasiado (alta/baja), debido a que existe (un exceso/una deficiencia) de protones.

* * * * *

baja; un exceso.

14. Panel 28, figuras 1 y 2. Los isótopos radiactivos que se encuentran abajo y a la derecha de la curva de estabilidad tienden por tanto a descomponerse de modo que (aumentan/disminuyen) sus números atómicos ¿Cuáles de las siguientes partículas producirán este efecto si son emitidas por un isótopo radiactivo: (partícula α/partícula β negativa/partícula β positiva/fotón γ/neutrón/neutrino)?

* * * * *

disminuyen; partícula α (reduce Z en dos) y partícula β positiva (reduce Z en uno).

15. Panel 28, figuras 1 y 2. Los isótopos *pesados* que se encuentran abajo y a la derecha de la curva de estabilidad probablemente se ajustarán más a la relación $\frac{N}{Z}$ reduciendo los números de los protones y los neutrones al mismo tiempo. Isótopos como el uranio-238 y el uranio-235 probablemente emitan (partículas α/positrones).

* * * * *

partículas α.

16. Los isótopos más ligeros que se encuentran a la derecha y abajo de la curva de estabilidad tienden a *reducir* el número de protones de sus núcleos y a *aumentar* el número de neutrones al mismo tiempo. Esto puede obtenerse por la emisión de (partículas α/partículas β positivas).

* * * * *

partículas β positivas.

17. El radio-228 se encuentra arriba y a la izquierda de la curva de estabilidad. Esto significa que tiene un exceso de (protones/neu-

trones) y tiende a decaer en forma tal que produce un isótopo hijo con un número atómico (más alto/más bajo). El radio-228 decae probablemente emitiendo (una partícula α/una partícula β positiva/una partícula β negativa).

* * * * *

neutrones; más alto; una partícula β negativa (la ecuación nuclear es ${}_{88}Ra^{228} \rightarrow {}_{89}Ac^{228} + {}_{-1}e^{0}$).

18. El radio-223 es un isótopo *pesado* que se encuentra abajo y a la derecha de la curva de estabilidad. Tiende a decaer en forma que produce un isótopo hijo con un número atómico (superior/inferior) porque tiene un exceso de (neutrones/protones). El radio-223 emite probablemente (una partícula α/una partícula β positiva/una partícula β negativa).

* * * * *

inferior; protones: una partícula α (${}_{88}Ra^{223} \rightarrow {}_{86}Rn^{219} + He^{4}$)

19. El silicio-27 es un isótopo relativamente *ligero* el cual se encuentra abajo y a la derecha de la curva de estabilidad. Esto significa que decae a un isótopo hijo el cual tiene un número (atómico/de masa) inferior y cuyo núcleo tiene (menos/más) protones. El silicio-27 decae emitiendo una_____(*completar*).

* * * * *

atómico; menos; partícula β positiva (${}_{14}Si^{27} \rightarrow {}_{13}Al^{27} + {}_{+1}e^{0}$)

20. Un método alternativo por medio del cual un exceso de protones en el núcleo de un isótopo radiactivo puede reducirse, es la absorción por el núcleo de un electrón de una capa electrónica cercana. Se cree que el mecanismo implicado es inverso al decaimiento beta del neutrón, ${}_{1}H^{1} + {}_{-1}e^{0} \rightarrow {}_{0}n^{1}$. Como probablemente el electrón que se absorba en uno de los electrones de la capa *K*, llamamos a este modo de transformación nuclear *captura del electrón-K*. La captura del electrón-*K* implica un proceso que cambia un (protón/neutrón) de un núcleo en un (protón/neutrón). A este respecto, su efecto sobre el núcleo es idéntico al producido por la emisión de una (partícula α/partícula β positiva).

* * * * *

protón; neutrón; partícula β positiva (*nota*: como los electrones algunas veces son capturados de otras capas este fenómeno es llamado en forma más general, *captura electrónica*).

21. (1) $_{7}Ni^{12} \rightarrow {}_{6}C^{12} + {}_{+1}e^{0}$
(2) $_{23}V^{49} + {}_{-1}e^{0} \rightarrow {}_{22}Ti^{49}$
(3) $_{47}Ag^{108} \rightarrow {}_{48}Cd^{108} + {}_{-1}e^{0}$
¿Cuáles de estas ecuaciones nucleares describe la captura electrónica?

* * * * *

(2)

22. Cuando ocurre la captura del electrón-*K*, un electrón de otra capa (*L*, *M*, *N*, etc.), salta a la capa-*K* para reemplazar al que se ha desalojado. Esto produce el tipo de radiación electromagnética que estudiamos en el capítulo 2, llamada_____.

* * * * *

rayos-X.

23. Los rayos X producidos cuando los electrones de otras capas caen en la capa *K* o *L* reciben el nombre de rayos X_____ porque sus frecuencias dependen en forma muy precisa del número (atómico/de masa) del núcleo.

* * * * *

característicos; atómico.

24. (1) $_{23}V^{48} \rightarrow {}_{22}Ti^{48} + {}_{+1}e^{0}$
(2) $_{23}V^{48} + {}_{1}e^{0} \rightarrow {}_{22}Ti^{48}$

Estas ecuaciones muestran que el vanadio-48 cambia a titanio-48 algunas veces por medio de_____y algunas veces por_____

* * * * *

(1) decaimiento β positivo; (2) captura de electrón-*K*

25. (1) $_{23}V^{48} \rightarrow {}_{22}Ti^{48} + {}_{+1}e^{0}$
(2) $_{23}V^{48} + {}_{-1}e^{0} \rightarrow {}_{22}Ti^{48}$

La captura del electrón *K* y la emisión beta positiva producen (el mismo isótopo hijo/diferentes isótopos hijos). En el caso de la captura del electrón-*K*, el isótopo *hijo* emite rayos X caracetrísticos después de que ocurre la captura. Esto significa que la transformación descrita en la ecuación [(1)/(2)] está siempre acompañada por la emisión de los rayos-X característicos del (vanadio/titanio).

* * * * *

el mismo isótopo hijo; (2); titanio.

26. Cuando un isótopo radiactivo sufre una transformación nuclear por la captura del electrón-*K*, los rayos X emitidos son característicos del isótopo (padre/hijo).

* * * * *

hijo.

27. La captura del electrón-*K* es una forma posible de transformación para los isótopos radiactivos que se encuentran (arriba y a la izquierda/abajo y a la derecha) de la curva de estabilidad.

* * * * *

abajo y a la derecha.

28. La emisión de partículas β negativas es la forma de transformación para los isótopos radiactivos que se encuentran (arriba y a la izquierda/abajo y a la derecha) de la curva de estabilidad. La emisión de partículas alfa es característica de la transformación de isótopos radiactivos (pesados/ligeros) que se encuentran _____.

* * * * *

arriba y a la izquierda; pesados; abajo y a la derecha.

29. ¿Cuálas de las formas de transformación nuclear que hemos examinado para los isótopos radiactivos implica: (1) la producción de rayos X característicos, (2) la reducción de neutrones y protones, (3) un aumento de protones y una disminución de neutrones, (4) una disminución de protones y un aumento de neutrones?

* * * * *

(1) la captura del electrón *K* ; (2) la emisión de partículas α ; (3) la emisión de las partículas β negativas ; (4) la emisión de partículas β positivas.

30. *Repaso.* Identifique el modo de transformación nuclear implícito en cada una de las siguientes ecuaciones donde intervienen isótopos radiactivos.

(1) ${}_{29}Cu^{64} + {}_{-1}e^{0} \rightarrow {}_{28}Ni^{64}$

(2) ${}_{87}Fr^{223} \rightarrow {}_{88}Ra^{223} + {}_{-1}e^{0}$

(3) ${}_{91}Pa^{231} \rightarrow {}_{89}AC^{227} + {}_{2}He^{4}$

(4) ${}_{7}N^{13} \rightarrow {}_{6}C^{13} + {}_{+1}e^{0}$

* * * * *

(1) la captura del electrón-*K* ; (2) la emisión de partículas β ne-

gativas; (3) la emisión de partículas α ; (4) la emisión de partículas β positivas.

31. *Repaso.* Consulte la ecuación (1) del cuadro 30. Los rayos X emitidos después de la captura del electrón-*K* son los rayos X característicos del (cobre-64/níquel-64).

* * * * *

níquel-64.

32. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) La pendiente $\left(\text{es decir, la relación } \frac{N}{Z}\right)$ de la curva de estabilidad permanece constante conforme Z aumenta.
(2) Los isótopos pesados tienden a tener más protones que neutrones en sus núcleos.
(3) La emisión de partículas alfa ocurre en los isótopos radiactivos ligeros que se encuentran abajo y a la derecha de la curva de estabilidad.
(4) La emisión de partículas alfa ocurre en los isótopos radiactivos pesados que tienen una relación $\frac{N}{Z}$ alta en comparación con la pendiente de la curva de estabilidad.
(5) La captura del electrón-*K* y la emisión de partículas β positivas son ambos métodos por medio de los cuales se reduce el número de protones en un isótopo radiactivo.
(6) La emisión de partículas β negativas está acompañada por los rayos-*x* característicos del isótopo hijo.

* * * * *

(5).

Sección 7. Fisión nuclear

elcmentos transuránicos

1. Las primeras transformaciones nucleares que *no* ocurrieron espontáneamente pero que fueron el resultado de la energía introducida desde el exterior, fueron inducidas con la ayuda de partículas α de alta velocidad de substancias naturalmente radiactivas. Un ejemplo es la transformación de nitrógeno-14 a oxígeno-17, que hemos estudiado anteriormente. En esta transformación concreta (los pro-

tones/las partículas α) de alta velocidad penetran en los núcleos de nitrógeno-14 para producir un núcleo compuesto que se descompone inmediatamente en un núcleo de oxígeno-17 y (un protón/una partícula α) de alta velocidad.

* * * * *

las partículas α ; un protón.

2. La primera transformación nuclear inducida que ocurrió sin el uso de partículas α como fuente externa de energía fue resultado del experimento de Cockcroft-Walton en 1932. Emplearon un acelerador de partículas para aumentar la velocidad de los protones hasta un punto en donde podían tener energías cinéticas tan altas como 0.7 Mev, y utilizaron estos protones para bombardear isótopos ligeros Es (más/menos) probable que un protón penetre un núcleo que una partícula α con la misma velocidad debido a que tiene una carga (menor/mayor).

* * * * *

más; menor.

3. El bombardeo de partículas alfa sobre una variedad de elementos ligeros indujo la transformación de algunos elementos los cuales emitieron protones y otros que emitieron neutrones. Tal bombardeo no logró cambiar la estructura del litio.

Cockcroft y Walton bombardearon una película de litio con protones de alta velocidad. Lo mismo que ocurre con el bombardeo de partículas α, el número de impactos directos en comparación con el número de protones es probablemente (grande/pequeño). El litio consiste en aproximadamente 90 por ciento litio-7 y el resto es litio-6. Cuando un protón penetra en un átomo de litio, probablemente es el isótopo (litio-6/litio-7). Explique.

* * * * *

pequeño; litio-7, debido a que nueve de diez átomos son de litio-7.

4. Panel 27. La figura 3 representa lo que ocurre cuando un protón penetra en un núcleo de $_3Li^7$ en el experimento de Cockcroft-Walton. El núcleo compuesto formado contiene_____ nucleones, _____ neutrones y _____ protones. Utilice los paneles 22 y 23 para expresar una ecuación que describa esta parte del experimento.

* * * * *

8; 4; 4; $_1H^1 + {}_3Li^7 \rightarrow {}_4Be^8$

5. Panel 28, figura 3. El núcleo compuesto es inestable y casi inmediatamente se separa en ——— partes, cada una con ——— neutrones y ——— protones y se mueven con una energía cinética de _____ Mev.

* * * * *

dos; 2; 2; 8.5

6. Panel 28, figura 3. Cada una de las partículas formadas cuando el núcleo compuesto se desintegra en una partícula α con más/menos) energía que el protón que indujo la transformación.

* * * * *

más.

7. Panel 27, figura 3. Podemos describir el resultado del experimento de _____ por medio de la ecuación nuclear.

$_1H^1 + {}_3Li^7 \rightarrow ({}_4Be^8) \rightarrow$ _____ + _____ .

* * * * *

Cockcroft-Walton; $_2He^4 + {}_2He^4$

8. Una desintegración nuclear que produce núcleos hijos de masa igual o comparable se llama fisión. La producción de dos partículas α cuando un protón penetra en el litio-7 (es/no es) un ejemplo de la fisión nuclear. La emisión de una partícula α del uranio-238 (es/no es) un ejemplo de fisión nuclear.

* * * * *

es; no es.

9. La desintegración de un núcleo de manera que produzca dos núcleos hijos de masa comparable recibe el nombre de _____ .

* * * * *

fisión.

10. Panel 27, figura 3. La energía cinética del protón que penetra en el núcleo de litio-7 es menor que 1 Mev. La energía cinética total de los productos de fisión en esta transformación es aproximadamente _____ Mev. En esta reacción de fisión existe una (ganancia/pérdida) substancial en la energía cinética de las partículas producidas

* * * * *

17 (cada uno tiene una energía cinética de aproximadamente 8.5 Mev).
ganancia.

11. Panel 27, figura 3. Cada fisión que ocurre en el experimento de Cockcroft-Walton representa una ganancia de aproximadamente 16 Mev de energía cinética. El número de colisiones directas (y, por tanto, el número de fisiones) que ocurre en comparación con el número total de protones empleados es relativamente (grande/pequeño).

* * * * *

pequeño.

12. En realidad, un número relativamente pequeño de protones del número total empleado para bombardear el litio son capaces de producir la fisión, de manera que la energía total suministrada a todos los protones que bombardean el litio es (mayor/menor) que la energía obtenida de las escasas fisiones que ocurren.

* * * * *

mayor.

13. Una reacción química o nuclear es una fuente eficiente de energía solamente si no es necesario proporcionar a los materiales reactantes tanta o más energía que la que producen cuando reaccionan. Por ejemplo, una pila de ladrillos no es una fuente eficiente de energía calorífica porque se necesita más energía para calentar los ladrillos que la que pueden radiar mientras se calientan. Desde este punto de vista, ¿es la fisión del litio, que requiere un suministro continuo de protones de alta velocidad, una fuente eficiente de energía?

* * * * *

No.

14. El calor emitido por la combustión de algunos átomos de carbón es absorbido por otros átomos y se lleva a cabo la combustión; el calor emitido por estos átomos facilita la combustión de otros, etc. El resultado es que en cuanto el carbón ha empezado a quemarse, puede quitarse la fuente externa de energía y la reacción de combustión se mantiene sola mientras queden carbón y oxígeno para la reacción. Cuando los productos de una reacción son eficien-

tes para producir la misma reacción en otras partes del sistema que se está considerando, de manera que la reacción se mantiene por sí misma, el resultado es una *reacción en cadena.*

Si la fisión del litio fuera tal que uno de sus productos fuese un número suficiente de protones de alta velocidad que provocaran la fisión de otros átomos del litio, la fisión del litio podría mantenerse por medio de una _____ y (sería/no sería) necesaria una fuente continua de protones del exterior.

* * * * *

reacción en cadena; no sería.

15. $_1H^1 + {}_3Li^7 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4$. Los protones no se encuentran entre los _____ de esta fisión; las partículas α producidas (son/no son) eficaces para producir una mayor fisión del litio-7. La fisión del litio-7 es tal que no puede mantenerse por medio de una _____ .

* * * * *

productos; no son; reacción en cadena.

16. Consulte el panel 29. La figura 1 es una gráfica de la energía de amarre por nucleón $\left(\frac{E_B}{A}\right)$ para los núcleos que ocurren naturalmente en función de los números de masa. La gráfica incluye [(1) solamente isótopos estables (2) solamente isótopos naturalmente radiactivos/(3) isótopos estables y naturalmente radiactivos].

* * * * *

(3)

17. Panel 29, figura 1. El núcleo con la mínima energía de amarre por nucleón es ($_2He^4/_{92}U^{238}/_{26}Fe^{56}/_1H^2$). La curva alcanza su máximo cuando A = (4/16/56/238).

* * * * *

$_1H^2$; 56 (es decir, para el hierro-56).

18. Cuando ocurren las reacciones nucleares como la descomposición radiactiva o la fisión, a la postre (por ejemplo, al final de una serie radiactiva) producen núcleos que son (más/menos) estables que sus núcleos padres. Cuando ocurre la fisión nuclear, confiamos que la energía de amarre por nucleón de cada uno de los

núcleos hijos sea (mayor que/menor que/igual a) la energía de amarre por nucleón del núcleo padre.

* * * * *

más; mayor que.

19. Panel 29, figura 1. Los nucleones que son más estables son aquellos con números de masa cercanos a (4/238/56). Cuando ocurre la fisión nuclear, confiamos que los núcleos hijos (se alejen de/se acerquen a) este número de masa que el núcleo padre.

* * * * *

56; se acerquen a.

20. Panel 29, figura 1. Es más probable que la fisión nuclear ocurra en aquellos isótopos que producirán núcleos hijos cercanos al número de masa 56. Esto significa que es más probable que la fisión ocurra en isótopos que se encuentran a la (izquierda/derecha) del $_{26}Fe^{56}$.

* * * * *

derecha (*nota*: la fisión del litio-7 puede parecer una contradicción a esto. Sin embargo, el examen de la gráfica muestra que el litio-7 se encuentra a la derecha de un máximo en el helio-4 y la fisión del litio-7, de hecho, produce dos fragmentos que son $_2He^4$).

21. Panel 29, figura 1. Es probable que la fisión de un núcleo a la izquierda de $A = 56$ produzca dos núcleos hijos los cuales tienen energías de amarre por nucleón (menores/mayores) que sus núcleos padres. Por esta razón (es/no es) probable que un isótopo como el potasio-39 sufra la fisión nuclear.

* * * * *

menores; no es.

22. Panel 29, figura 1. La fisión describe la transformación de un solo núcleo en núcleos hijos de masa igual o comparable. La fusión describe la formación de un solo núcleo a partir de núcleos de masas menores. Ambas transformaciones ocurren de manera que producen núcleos con energías de amarre por nucleón (mayores/menores). Es más probable que el uranio-235 sufra (fisión/fusión con otro núcleo). Es más probable que el helio-3 sufra (fisión/fusión con otro núcleo).

* * * * *

mayor; fisión; fusión con otro núcleo.

23. (1) $_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_{2}He^{4}$
(2) $_{92}U^{236} \rightarrow {}_{56}Ba^{141} + {}_{36}Kr^{92} + 3{}_{0}n^{1}$
(3) $_{1}H^{2} + {}_{1}H^{2} \rightarrow {}_{2}He^{4}$

¿Cuáles de estas ecuaciones describen una reacción de fusión? ¿Cuál describe una reacción de *fisión?*

* * * * *

(3); (2).

24. Una reacción de fisión típica es una en la cual *un neutrón penetra y es capturado* por un núcleo para formar un núcleo compuesto altamente inestable el cual se desintegra casi inmediatamente en dos núcleos hijos con números de masa aproximadamente semejantes y *varios neutrones.*

¿Cuál de las siguientes ecuaciones representan este tipo de reacción de fisión?
(1) $_{1}H^{3} + {}_{1}H^{2} \rightarrow {}_{2}He^{4} + {}_{0}n^{1}$
(2) $_{92}U^{238} + {}_{0}n^{1} \rightarrow ({}_{92}U^{239}) \rightarrow {}_{93}Np^{239} + {}_{-1}e^{0}$
(3) $_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \rightarrow ({}_{92}U^{236}) \rightarrow {}_{37}Rb^{97} + {}_{55}Cs^{137} + 2{}_{0}n^{1}$

* * * * *

(3).

25. $_{0}n^{1} + {}_{92}U^{235} \rightarrow {}_{37}Rb^{97} + {}_{55}Cs^{137} + 2{}_{0}n^{1}$. Esta reacción ocurre cuando el núcleo compuesto $_{92}U^{236}$ se forma y se desintegra. Si el neutrón penetra y pasa a través del núcleo de uranio-235, la fisión (ocurre/no ocurre). Si el neutrón penetra y es capturado por el núcleo de uranio-235, la fisión (ocurre/no ocurre).

* * * * *

no ocurre; ocurre.

26. Por regla general, los neutrones tienen poca o ninguna dificultad para penetrar en los núcleos. ¿Puede explicar por qué?

* * * * *

Son eléctricamente neutros y por tanto no son repelidos como las partículas α, los protones, etc.

27. De hecho, los neutrones pueden penetrar y pasar a través de los núcleos. Los neutrones con energías cinéticas grandes (más/menos)

probablemente son capturados que los que tienen energías cinéticas pequeñas.

* * * * *

menos.

28. Recordemos que la temperatura de una substancia es una medida de la energía cinética promedio de sus moléculas (o átomos). Los neutrones (llamados neutrones *térmicos*) serán más probablemente capturados por los núcleos del uranio-235 que aquellos con energías cinéticas más o menos e iguales a la energía cinética promedio de sus átomos vecinos, que es alrededor de 0.03 ev. Un neutrón con una energía cinética aproximadamente de 1 Mev. (es/no es) un neutrón térmico y probablemente (producirá/no producirá) la fisión del uranio-235.

* * * * *

no es; no producirá.

29. Un neutrón con una energía cinética de aproximadamente 0.03 (ev/Mev/joule) recibe el nombre de neutrón térmico; (es/no es) probable que sea capturado por nu núcleo de uranio-235.

Un neutrón con una energía cinética de aproximadamente 10 ev probablemente (producirá/no producirá) la fisión cuando penetre en un núcleo de uranio-235.

* * * * *

ev; será; no producirá.

30. ${}_0n^1 + {}_{92}U^{235} \rightarrow {}_{52}Te^{137} + {}_{40}Zr^{97} + 2\,{}_0n^1$

Los neutrones que más probablemente producirán esta fisión son llamados neutrones_____y tienen una energía cinética aproximadamente de_____ev.

* * * * *

térmicos; 0.03.

31. Panel 29. Consulte la figura 2, que es una tabla de fisiones típicas del uranio-235. Note que la fisión del uranio-235 [(1) produce siempre el mismo par de núcleos hijos/(2) produce diferentes pares de núcleos hijos]. Note también que los neutrones (siempre/algunas veces/nunca) se encuentran entre los productos de la fisión nuclear del uranio-235.

* * * * *

(2); siempre.

32. Recordemos que en la fisión del litio-7 por un protón, los protones (siempre/nunca/algunas veces) se encuentran entre los productos de fisión. Esta es la razón de por qué la fisión del litio-7 (se/no se) sostiene por una reacción en cadena.

* * * * *

nunca; no se.

33. Cuando la fisión del uranio-235 absorbe un neutrón térmico (produce/no produce) neutrones entre sus productos; la fisión del uranio (puede/no puede) sostenerse en una reacción en cadena.

* * * * *

produce; puede.

34. Panel 29, figura 2. Los productos de cualquiera de estas reacciones de fisión incluyen fotones γ y la energía cinética total de las partículas producto es aproximadamente 200 Mev. Compare esta energía con la emitida por la combustión de carbono (carbón) o la disociación de TNT en el panel 21. La energía implicada en la fisión de un átomo de $_{92}U^{235}$ es aproximadamente (10/100/1.000,000) veces mayor que ocurre en la desintegración de una molécula de TNT.

* * * * *

1.000,000.

35. Panel 29, figura 2. La energía cinética del neutrón térmico que produce fisión es aproximadamente _____ ev. La energía cinética de los productos resultantes de la fisión que produce es de unos _____ Mev.

* * * * *

0.03; 200.

36. Panel 30, figura 2. Los neutrones que son parte de los productos de fisión cuando un neutrón térmico es absorbido por un núcleo de uranio-235 tienen energías cinéticas de aproximadamente 1 Mev (son/no son) neutrones térmicos y probablemente (sostendrán/no sostendrán) una reacción en cadena.

* * * * *

no son; no sostendrán.

37. Los reactores nucleares (aparatos diseñados para controlar la energía emitida en las reacciones de fisión) contienen materiales llamados *moderadores* los cuales *hacen lentos pero no absorben a los neutrones.* La función de los moderadores es reducir las energías cinéticas de los neutrones resultantes de la fisión a un punto en donde se convierten en neutrones_____y pueden emplearse para sostener una reacción en cadena de fisión.

* * * * *

térmicos.

38. El deuterio (en agua pesada) y el carbono (en grafito) son buenos moderadores porque (aumentan/disminuyen) la energía cinética de los neutrones que chocan con ellos y (absorben/no absorben) los neutrones.

* * * * *

disminuyen; no absorben (un neutrón absorbido no puede continuar y producir la fisión del uranio-235).

39. Probablemenet el estudiante haya oído la expresión de "masa" crítica" empleada con respecto a materiales fisionables como el uranio-235. Se refiere al hecho de que debe haber suficiente material fisionable para hacer más lentos a los neutrones hasta las energías térmicas antes de que escapen a través de la superficie del material y ya no estén disponibles para mantener la fisión de una reacción en cadena, también significa que debe haber una masa suficiente para mantener en un nivel mayor que la unidad la relación entre los neutrones producidos y los empleados en la fisión.

Una masa subcrítica de $_{92}U^{235}$ (mantendrá/no mantendrá) una reacción en cadena.

* * * * *

no mantendrá.

40. Toda muestra de uranio que no haya sido tratada especialmente o enriquecida con uranio-235 es aproximadamente 99 por ciento de *uranio*-238 *no fisionable.* Como el uranio-238 es un buen asimilador de neutrones con energías cinéticas de aproximadamente 5 ev, tiende a absorber los electrones producidos por las fisiones del uranio-235 mezclado con él y por tanto para (facilitar/prevenir) una reacción en cadena de fisión. El empleo efectivo del uranio-235 como

fuente de energía requiere que esté (mezclado con/separado de) una cantidad más abundante de uranio-238.

* * * * *

prevenir; separado de.

41. La separación del uranio-235 del uranio-238 es un proceso muy caro y el uranio-235 obtenido de cualquier muestra no es mayor que (10/1/90) por ciento.

* * * * *

1.

42. Hasta ahora hemos encontrado solamente un material fisionable, el isótopo_____, y éste es un isótopo del uranio relativamente (raro/abundante).

* * * * *

uranio-235, ó $_{92}U^{235}$; raro.

43. Otro material fisionable es el plutonio, el cual no existe en forma natural pero puede prepararse en la forma siguiente: Neutrones de alta energía resultantes de la fisión del uranio-235 son llevados a una energía cinética de aproximadamente 5 ev, energía a la cual son absorbidos preferencialmente por el (uranio-235/uranio-238).

* * * * *

uranio-238 (son absorbidos por el $_{92}U^{235}$ para 0.03 ev).

44. Cuando un núcleo de $_{92}U^{238}$ absorbe uno de estos neutrones se vuelve un núcleo de $_{92}U^{239}$ que es inestable y emite una partícula β negativa. El núcleo hijo tiene un número atómico de _____ y un número de masa de_____.

* * * * *

93; 239.

45. El elemento más pesado que se conoce en la naturaleza tiene una carga nuclear de +92. Este elemento es el uranio. Cuando el $_{92}U^{238}$ absorbe un neutrón y el núcleo compuesto $_{92}U^{239}$ emite una partícula β negativa, el isótopo hijo formado es uno que (ocurre/no ocurre) en la naturaleza. Explique.

* * * * *

no ocurre (cuando el $_{92}U^{239}$ emite una partícula β negativa, el hijo tiene una carga nuclear de +93).

46. $_{92}U^{239} \rightarrow {}_{93}Np^{239} + {}_{-1}e^{0}$. El elemento neptunio recibe el nombre de elemento transuránico porque su número (de masa/atómico) es mayor que el del elemento _____.

* * * * *

atómico; uranio.

47. El neptunio-239 es radiactivo y tiene una vida media de 2.3 días. Emite una partícula β negativa y produce el isótopo hijo plutonio-239 ($_{94}Pu^{239}$); ó $_{93}Np^{239} \rightarrow$ _____ + _____. El plutonio recibe el nombre del elemento _____.

* * * * *

$_{94}Pu^{239}$ + $_{-1}e^{0}$; transuránico.

48. Cualquier elemento cuyo número atómico sea mayor que _____ es un elemento transuránico.

* * * * *

92.

49. Los isótopos del mismo elemento son, como regla general, más difíciles de separar de una mezcla que los isótopos de diferentes elementos debido a que estos últimos tienen diferentes características químicas. Apenas hemos visto que cuando el uranio (235/238) absorbe neutrones se transforma finalmente en (otro isótopo del uranio/un isótopo de un elemento diferente).

* * * * *

238; un isótopo de un elemento diferente (plutonio).

50. La separación del plutonio-239 del uranio-238 restante es un proceso (más/menos) difícil que la separación del uranio-235 del uranio-238.

* * * * *

menos.

51. Cuando el plutonio-239 absorbe un neutrón térmico sufre el mismo tipo de transformación que el uranio-235 bajo las mismas circunstancias. El plutonio-239 (es/no es) un material fisionable.

* * * * *

es.

52. El plutonio-239 es producido por el bombardeo de uranio-238 con neutrones (térmicos/no térmicos). El uranio-238 constituye aproximadamente 99 por ciento de todo el uranio disponible. El plutonio-239 es fácilmente separable del uranio-238 cuando están mezclados. Una existencia de material fisionable se produce más rápidamente con (uranio/plutonio-239).

* * * * *

no térmicos; plutonio-239.

53. El neptunio y el plutonio son ambos elementos artificiales por el hecho de que (se encuentran/no se encuentran) en la naturaleza. El elemento más pesado que se ha encontrado en la naturaleza es el_____. El neptunio y el plutonio reciben el nombre de elementos_____debido a que tienen números atómicos que son (mayores/menores) que los del elemento más pesado existente en la naturaleza.

* * * * *

no se encuentran; uranio; transuránicos; mayores.

54. Todos los elementos transuránicos son radiactivos. El neptunio-239 tiene una vida media menor de 2.3 días. El plutonio-239 no sería un material fisionable muy útil si su vida media no fuera considerablemente (mayor/menor) que esto.

* * * * *

mayor (afortunadamente para los ingenieros nucleares, es de unos 25,000 años).

55. Si se deja que el plutonio-239 absorba un neutrón térmico, se fisiona como el uranio-235. Si se deja solo, es radiactivo con una vida media de 25,000 años, emitiendo una partícula α.

Utilice los paneles 22 y 23 para escribir una ecuación nuclear de la descomposición radiactiva del plutonio-239. Al término de 50,000 años_____(*fracción*) de una muestra de plutonio-239 puro será plutonio-239.

* * * * *

$_{94}Pu^{239} \rightarrow {}_{92}U^{235} + {}_{2}He^{4}$

1/4 (note que incluso cuando se le deja descomponerse radiactivamente, es decir, cuando no está expuesto a neutrones térmicos, el plutonio-239 a la larga produce $_{92}U^{235}$ fisionable).

56. *Repaso.* Una transformación nuclear en la cual dos núcleos se unen para producir un núcleo más grande con una energía de amarre mayor por nucleón recibe el nombre de_____. Una transformación nuclear en la cual un núcleo se desintegra en núcleos hijos de masa aproximadamente semejante y una mayor energía de amarre por nucleón que el núcleo padre recibe el nombre de_____

* * * * *

fusión; fisión.

57. *Repaso.* La curva de la energía de amarre por nucleón muestra que el elemento más estable tiene un número de masa_____. Los elementos cuyos núcleos más probablemente sufren la fisión se encuentran (a la derecha/a la izquierda/al centro) de esta curva. Los elementos cuyos núcleos probablemente se combinen en la fusión nuclear se encuentran (a la derecha/a la izquierda/al centro) de esta curva.

* * * * *

56: a la derecha; a la izquierda.

58. *Repaso.* La fisión del litio-7 cuando absorbe protones no es una fuente efectiva y eficiente de energía porque los productos de fusión son tales que_____(*completar*).

* * * * *

no pueden sostener una reacción en cadena.

59. *Repaso.* La energía cinética de un neutrón térmico es aproximadamente (100ev/5 ev/200 Mev/0.03 ev). Los neutrones térmicos tienen mayor probabilidad de penetrar en el uranio-(238/235) y ser absorbidos por él que por el uranio-(238/235).

* * * * *

0.03 ev; 235; 238.

60. *Repaso.* ¿Cuáles de los siguientes isótopos tienen núcleos que se fisionan cuando absorben un neutrón térmico?
(1) $_{92}U^{238}$, (2) $_{1}H^{1}$, (3) $_{2}He^{4}$, (4) $_{93}Np^{239}$, (5) $_{88}R^{226}$,
(6) $_{95}Am^{239}$, (7) $_{92}U^{235}$. (8) $_{26}Fe^{56}$, (9) $_{94}Pu^{239}$

* * * * *

(7); (9).

61. *Repaso.* ¿Cuáles de los siguientes isótopos son elementos transuránicos?

(1) ${}_2He^4$. (2) ${}_{88}Ra^{226}$, (3) ${}_{93}Np^{239}$, (4) ${}_{92}U^{238}$, (5) ${}_{92}U^{235}$, (6) ${}_{96}Cm^{243}$, (7) ${}_{94}Pu^{242}$

* * * * *

(3); (6); (7).

62. *Repaso.* La energía cinética de los productos liberados en la fisión nuclear es aproximadamente_____Mev. Esta es aproximadamente 10^6 veces (mayor/menor) que la energía que interviene cuando se desintegra una molécula de TNT.

* * * * *

200; mayor.

63. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes ecuaciones describen la fisión nuclear.

(1) ${}_1H^1 + {}_3Li^7 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4$
(2) ${}_1H^3 + {}_1H^2 \rightarrow {}_2He^4 + {}_0n^4$
(3) ${}_1H^3 + {}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4$
(4) ${}_0n^1 + {}_{92}U^{238} \rightarrow {}_{93}Np^{239} + {}_{-1}e^0$
(5) ${}_0n^1 + {}_{92}U^{235} \rightarrow {}_{51}Sb^{133} + {}_{41}Cb^{99} + 4{}_0n^1$
(6) ${}_{93}Np^{239} \rightarrow {}_{94}Pu^{239} + {}_{-1}e^0$

* * * * *

(1); (5).

64. *Repaso.* Las substancias como el grafito (carbono) y el agua pesada de los cuales se emplean en los reactores nucleares para desacelerar a los neutrones hasta energías cinéticas térmicas reciben el nombre de_____.

* * * * *

moderadores.

65. *Repaso.* La masa mínima de uranio-235 o plutonio-239 que es necesaria para mantener una reacción en cadena recibe el nombre de_____.

* * * * *

masa crítica.

66. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) Un moderador empleado en un reactor nuclear es una substancia que absorbe los neutrones de alta energía.

(2) El uranio-238 es un buen moderador.
(3) Los neutrones emitidos como productos de una reacción de fisión tienen energías cinéticas demasiado grandes de modo que no es probable que las capture el uranio-235.
(4) La mayor parte de los elementos transuránicos se han encontrado en la naturaleza.
(5) El neptunio es un elemento artificial.
(6) El elemento más pesado que se ha encontrado en la naturaleza (es decir, que no es artificial) es el plomo.
(7) El helio-4 tiene una mayor estabilidad que el litio-7.
(8) La vida media del plutonio-239 es 3×10^{-5} segundos.
(9) El plutonio-239 es más fácil de separar del uranio-238 que el uranio-235 del uranio-238.
(10) Cualquier muestra de mineral de uranio escogida al azar consiste principalmente de uranio-235 fisionable.
(11) La fisión del uranio-235 siempre produce exactamente los mismos isótopos hijos.
(12) No es probable que un isótopo con el número de masa 53 sufra la fisión nuclear.

* * * * *

(3); (5); (7); (9); (12).

Sección 8. Fuerzas nucleares y fusión

1. Los protones y los neutrones que constituyen un núcleo colectivamente son llamados_____. Los protones están cargados positivamente y tienden a (atraerse/repelerse) unos a otros debido a sus cargas.

* * * * *

nucleones; repelerse.

2. Las fuerzas eléctricas entre los protones (aumentan/disminuyen) conforme se acercan entre sí.

* * * * *

aumentan.

3. Si las fuerzas eléctricas son las únicas fuerzas que actúan dentro de un núcleo, ¿podemos esperar que los nucleones se mantengan unidos? Explique.

* * * * *

¡No! Las únicas cargas presentes en el núcleo son positivas y, por tanto, todas las fuerzas *eléctricas* entre los nucleones son de repulsión.

4. Existen núcleos que contienen más de un protón. Esto sugiere que *dentro* de un núcleo existe una fuerza (de atracción/de repulsión) entre los nucleones, la cual es (más fuerte/más débil) que la fuerza eléctrica que existe entre los protones a la misma distancia.

* * * * *

de atracción; más fuerte.

5. Llamamos a estas fuerzas que unen a los nucleones, fuerzas nucleares. Las fuerzas nucleares (son/no son) fuerzas eléctricas.

* * * * *

no son.

6. Dentro del núcleo, la fuerza (nuclear/eléctrica) entre los nucleones debe ser más fuerte que la fuerza (nuclear/eléctrica) a la misma distancia. Un protón *dentro* de un núcleo (atrae/repele) a un protón que está *fuera* del núcleo; esto sugiere que a grandes distancias las fuerzas (nucleares/eléctricas) son más fuertes.

* * * * *

nuclear; eléctrica; repele; eléctricas.

7. A *corta distancia,* la fuerza nuclear de atracción entre los nucleones es (igual a/mayor que/menor que) la fuerza eléctrica entre los protones a la misma distancia. A gran distancia, la fuerza eléctrica entre los protones es (igual a/mayor que/menor que) la fuerza nuclear a la misma distancia.

* * * * *

mayor que; mayor que.

8. Los experimentos demuestran que, a corta distancia, las fuerzas nucleares son aproximadamente 100 veces más fuertes que las fuerzas eléctricas a la misma distancia. Sabemos que las fuerzas gravitacionales a la misma distancia son 10^{-40} tan fuertes como las fuerzas eléctricas. Las fuerzas nucleares (son/no son) fuerzas gravitacionales.

* * * * *

·uos ou

9. Las fuerzas nucleares son fuerzas de (largo/corto) alcance en comparación con las fuerzas eléctricas.

* * * * *

corto.

10. Consulte el panel 30. Esta es una gráfica de la fuerza *neta* que se ejerce sobre un protón conforme se acerca a otro protón. Lea el párrafo descriptivo. Conforme el protón se acerca desde una separación infinita hasta una distancia *OA* del centro del otro protón, la fuerza neta que se ejerce sobre el protón es (de atracción/de repulsión) y (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

de repulsión; aumenta.

11. Panel 30. La curva de la cual el arco *ECD* es parte, es esencialmente la gráfica de la fuerza eléctrica sobre el protón que se acerca; para separaciones más grandes que *OA* la fuerza neta que se ejerce sobre el protón es casi totalmente (nuclear/gravitacional/eléctrica).

* * * * *

eléctrica.

12. Panel 30. Cuando la distancia entre los protones es mayor que o igual a aproximadamente 2×10^{-14} metros, la fuerza neta que existe entre los protones es (de atracción/de repulsión) y la contribución de la fuerza (nuclear/eléctrica) entre ellos es despreciable.

* * * * *

de repulsión; nuclear.

13. Panel 30. El alcance de la fuerza nuclear es algo menor que _____metros.

* * * * *

2×10^{-14}.

14. Panel 30. Si la fuerza neta que se ejerce sobre el protón que se acerca continuara siendo casi exclusivamente eléctrica conforme el protón pasara de *A* a *B*, esperaríamos que la fuerza de repulsión (aumentara/disminuyera) a lo largo de la trayectoria (*CD*/*CB*). El hecho es que la fuerza neta de repulsión (aumenta/disminuye)

a lo largo de la trayectoria (*CD/CB*), lo cual significa que la fuerza nuclear que se ejerce sobre el protón que se acerca (es/no es) despreciable para distancias dentro de *OA*.

* * * * *

aumentara; *CD;* disminuye; *CB;* no es.

* * * * *

15. Panel 30. Para una distancia *OB*, la fuerza nuclear que se aplica sobre el protón que se acerca es (igual a/menor que/mayor que) la fuerza eléctrica de repulsión. Para separaciones más pequeñas que 2×10^{-15} metros, la fuerza neta es (de atracción/de repulsión) y la magnitud de su componente nuclear (es despreciable/aumenta rápidamente/disminuye rápidamente).

* * * * *

igual a; de atracción; aumenta rápidamente.

16. Panel 30. Si dos protones están separados por una distancia de 4×10^{-14} metros, la fuerza neta que existe entre ellos es (de atracción/de repulsión) debido a que [(1) la fuerza nuclear existente entre ellos es mayor que la fuerza eléctrica/(2) la fuerza eléctrica que existe entre ellos es despreciable/(3) la fuerza nuclear existente entre ellos es despreciable].

* * * * *

de repulsión; (3).

17. Panel 30. Si dos protones pueden acercarse bastante de manera que la distancia entre sus centros sea 1.5×10^{-15} metros, entonces ellos (se atraen/se repelen) fuertemente porque a esta distancia la fuerza nuclear es ($100/10^{-40}$) veces la fuerza eléctrica entre ellos.

* * * * *

se atraen; 100.

18. Panel 30. Esta gráfica muestra que las fuerzas eléctricas son fuerzas de (corto/largo) alcance. Las fuerzas nucleares son despreciables para distancias (mayores que 2×10^{-14} metros/menores que 2×10^{-15} metros). Por esta razón, las fuerzas nucleares se llaman fuerzas de (largo/corto) alcance.

* * * * *

largo; mayores que 2×10^{-14} metros; corto.

19. Las fuerzas nucleares pueden ser ejercidas entre: (1) un protón y un protón; (2) un protón y un neutrón; (3) un neutrón y un neutrón. Para distancias menores que 2×10^{-15} metros, se observa que la fuerza nuclear entre un protón y un protón es la misma que existe entre dos neutrones o entre un protón y un neutrón (dentro de la exactitud experimental de 1 por ciento). Esto sugiere que la fuerza nuclear entre dos nucleones (depende de/es independiente de) que una o ambas estén cargadas eléctricamente.

* * * * *

es independiente de.

20. Las fuerzas que mantienen unidos a los nucleones en un núcleo son fuerzas de_____ alcance (son/no son) independientes de la carga.

* * * * *

corto; son.

21. El experimento demuestra que el diámetro de un núcleo es bastante aproximado por medio de la ecuación $D = (2.6 \times 10^{-15}$ metros$) \sqrt[3]{A}$, en donde A es el número de masa del núcleo que se está considerando. El diámetro del núcleo del $_{13}Al^{27}$ es_____ metros.

* * * * *

$$D = (2.6 \times 10^{-15} \text{ m}) \sqrt[3]{27}$$
$$= (2.6 \times 10^{-15})(3) = 7.8 \times 10^{-15} \text{ m}$$

22. La fuerza nuclear disminuye *muy rápidamente* conforme aumenta la separación de los nucleones más allá de 2×10^{-15} metros. La fuerza nuclear entre los nucleones en los extremos opuestos de un diámetro del núcleo del aluminio-27 es muy (débil/fuerte).

* * * * *

débil. ⓐⓑⓒ

23. La distancia promedio entre los centros de nucleones dentro de los núcleos es aproximadamente 1.9×10^{-15} metros. Esto significa que la distancia entre los centros de los nucleones *a* y *c* mostrados anteriormente es alrededor de_____metros. A esta distancia, la fuerza es [(1) la misma que existe entre *a* y *b*/(2) sólo ligeramente mayor que la existente entre *a* y *b*/(3) mucho menor que la que existe entre *a* y *b*].

* * * * *

Los centros de *a* y *c* son dos diámetros ó 2 (1.9×10^{-15}) metros $= 3.8 \times 10^{-15}$ metros. Esto es mayor que 2×10^{-15} metros, de manera que la fuerza nuclear es mucho menor entre *a* y *c*. La respuesta es (3).

24. Los nucleones interactúan fuertemente solamente cuando sus centros están separados una distancia menor que 2×10^{-15} metros. Como la distancia promedio entre los centros de los nucleones en un núcleo es aproximadamente 1.9×10^{-15} metros, cualquier nucleón interactúa [(1) con todos los otros nucleones del núcleo/(2) solamente con sus vecinos inmediatos].

* * * * *

(2).

25. Calcule la longitud del diámetro del telurio-125.

La interacción por fuerzas nucleares entre dos nucleones localizados en los extremos de tal diámetro es (fuerte/despreciable).

* * * * *

$D = (2.6 \times 10^{-15}\ \text{m})\ \sqrt{125}$

$= (2.6 \times 10^{-15})(5) = 13 \times 10^{-15}\ \text{m}$

$= 1.3 \times 10^{-14}\ \text{m}$

despreciable (1.3×10^{-14} metros, es mucho mayor que la separación 2×10^{-15} metros).

26. Panel 30. Si los dos nucleones descritos en el cuadro 25 son protones, entonces la fuerza neta (nuclear y eléctrica) entre ellos es (de atracción/de repulsión).

* * * * *

A una separación mayor que 2×10^{-15} metros la fuerza *neta* entre los protones es de *repulsión.*

27. La razón por la cual los protones descritos en los cuadros 25 y 26 no son expulsados del núcleo es porque son mantenidos por las atracciones nucleares de [(1) todos los otros nucleones/(2) los nucleones inmediatamente adyacentes.

* * * * *

(2).

28. Excepto en el caso de átomos ligeros, cualquier nucleón individual dentro de un núcleo (interactúa/no interactúa) con todos los

otros nucleones del núcleo. Por esta razón decimos que las fuerzas nucleares están *saturadas*. Cualquier partícula cargada interactúa con *todas* las otras partículas cargadas; esto indica que las fuerzas eléctricas (están/no están) saturadas.

* * * * *

no interactúa; no están.

29. Describimos el hecho de que cualquier nucleón individual interactúa solamente con un número limitado de nucleones adyacentes, es decir, los que se hallan dentro del intervalo de 2×10^{-15} metros, diciendo que las fuerzas nucleares están _____.

* * * * *

saturadas.

30. Las fuerzas nucleares están saturadas porque son fuerzas de _____alcance y un solo nucleón (está/no está) por regla general suficientemente cerca de los otros nucleones del núcleo para interactuar atractivamente con ellos.

* * * * *

corto; no está.

31. Las fuerzas nucleares son de corto alcance, saturadas y (dependientes/independientes) de la carga.

* * * * *

independientes.

32. Consulte el panel 29. La figura 1 muestra que (hay/no hay) energía de amarre máxima por nucleón.

* * * * *

hay.

33. Panel 29, figura 1. La existencia observada de una energía máxima de amarre por nucleón indica que la interacción entre un nucleón y sus vecinos inmediatos (está/no está) influido por la adición de otro nucleón a alguna parte remota del núcleo. Esta es otra evidencia de que las fuerzas nucleares son de_____ y están_____.

* * * * *

está; corto alcance; saturadas.

34. Panel 29, figura 1. Una transformación nuclear en la cual dos núcleos se combinan para formar un solo núcleo, el cual tiene una energía de amarre por nucleón más alta que cualquiera de los núcleos originales, recibe el nombre de _____. Es muy probable que este tipo de transformación implique núcleos localizados a la (derecha/izquierda) del $_{26}Fe^{56}$ en la figura 1.

* * * * *

fusión; izquierda.

35. La fusión implica traer dos núcleos suficientemente cerca de manera que la fuerza de atracción entre los nucleones sea mayor que la fuerza eléctrica de repulsión entre los núcleos. Los núcleos que son más fáciles de juntar en esta forma, son los que tienen números atómicos relativamente (bajos/altos).

* * * * *

bajos (y por tanto cargas nucleares pequeñas).

36. ¿Cuáles de los siguientes pares de núcleos tienen más probabilidad de producir una reacción de fusión?
(1) $_{37}Rb^{97}$ y $_{55}Cs^{127}$
(2) $_1H^3$ y $_1H^2$

* * * * *

(2).

37. ¿Cuáles de las siguientes reacciones de fusión son más fáciles de llevar a cabo?
(1) $_8O^{16} + {}_8O^{16} \rightarrow {}_{16}S^{32}$
(2) $_1H^2 + {}_1H^2 \rightarrow {}_2He^4$
(3) $_{11}Na^{23} + {}_{10}Ne^{22} \rightarrow {}_{21}Sc^{45}$

* * * * *

(2).

38. La fusión de los núcleos requiere que ellos tengan suficiente energía_____para vencer la fuerza eléctrica de repulsión entre ellos.

* * * * *

cinética.

39. $_1H^2 + {}_1H^2 \rightarrow {}_2He^4$

Para que ocurra esta reacción el gas deuterio debe calentarse hasta aproximadamente 1.000,000°C. Esto proporciona una energía cinética promedio de aproximadamente 130 ev a los núcleos. Compare ésta con la energía cinética de un neutrón que produce fisión (0.03 ev). Las reacciones de fusión ocurren a temperaturas (mayores/menores) que las reacciones de fisión.

* * * * *

mayores.

40. Las reacciones nucleares en las cuales los reactantes iniciales (es decir, los elementos representados en el primer miembro de la ecuación) deben estar a elevadas temperaturas de aproximadamente 1.000,000°C son reacciones *termonucleares*. Vemos que los reactantes ($_0n^1$ y $_{92}U^{235}$) en una reacción de fisión pueden estar más o menos a la temperatura ambiente cuando principia la reacción. Las reacciones de fisión (son/no son) termonucleares.

* * * * *

no son.

41. Las reacciones de fusión requieren que los núcleos reactantes obtengan aproximadamente la energía cinética asociada con_____°C. Las reacciones de fusión (son/no son) termonucleares.

* * * * *

1.000,000; son.

42. Las temperaturas dentro del Sol y otras estrellas a menudo son superiores a 20.000,000°C (es/no es) probable que las reacciones nucleares ocurran en el interior del Sol.

* * * * *

es.

43. Consulte el panel 31. En esta tabla aparece la lista de los pasos del ciclo del carbono, que generalmente se considera que es el proceso a partir del cual el Sol obtiene la energía que irradia continuamente. Note primero que el_____empleado en el paso (1) se obtiene también como un producto en el paso (6).

* * * * *

$_6C^{12}$.

44. Panel 31. El ciclo del carbono (utiliza/no utiliza) el suministro

de carbono-12 en el interior del Sol. Note que el _____ empleado en los pasos (1), (3), (4) y (6) nunca es regresado como un producto.

* * * * *

no utiliza; $_1H^1$

45. Panel 31. Todos los núcleos utilizados en el ciclo del carbono son $_1H^1$; el producto nuclear del ciclo es _____.

* * * * *

$_2He^4$

46. Panel 31. Todos los núcleos utilizados en el ciclo del carbono son _____; el producto nuclear del proceso es _____.

* * * * *

$_1H^1$; $_2He^4$

47. Panel 31. La reacción general que ocurre en el ciclo del carbono puede ser descrita en la forma $_1H^1 + {}_1H^1 + {}_1H^1 + {}_1H^1 \rightarrow$ _____ $+ 2(_{+1}e^0) + 2$ neutrinos.

* * * * *

$_2He^4$

48. $4(_1H^1) \rightarrow {}_2He^4 + 2(_{+1}e^0) + 2$ neutrinos. Esta reacción ocurre solamente a temperaturas (bajas/moderadas/altas) alcanzables ordinariamente (sobre la superficie de la Tierra/en el interior del Sol). Es una reacción de (fisión/fusión).

* * * * *

altas; en el interior del Sol; fusión.

49. $4(_1H^1) \rightarrow {}_2He^4 + 2(_{+1}e^0) + 2$ neutrinos. La energía total emitida en esta reacción es aproximadamente 25 Mev. La energía irradiada por el Sol es el resultado de la continua fusión de _____ (*número*) núcleos de _____ (*isótopo*) en el nucleo de _____

* * * * *

4: hidrógeno-1; helio-4.

50. $4(_1H^1) \rightarrow {}_2He^4 + 2(_{+1}e^0) + 2$ neutrinos $+ 25$ *Mev*. Un gramo de $_1H^1$ contiene alrededor de 6×10^{23} núcleos. Para cada cuatro núcleos convertidos a un núcleo de helio-4, se emiten _____ Mev

de energía. Calcule la energía total que se emite cuando 1 G de hidrógeno-1 se convierte en helio-4.

* * * * *

25.

$\frac{6 \times 10^{-23}}{4} = 1.5 \times 10^{23}$ núcleos de helio-4 formados cada uno acompañado con 25 Mev de energía. Un gramo de hidrógeno-1 produciría $(1.5 \times 10^{23})(25 \text{ Mev}) = \mathbf{3.75 \times 10^{24}\ Mev.}$

51. Convierta la respuesta del cuadro 50 a joules.

* * * * *

$(3.75 \times 10^{24} \text{ Mev})(10^6 \text{ ev/Mev})(1.6 \times 10^{-19} \text{ joule/ev})$
$= 6 \times 10^{11}$ joules

52. La energía de una masa de 1 G de uranio-235 que sufre la fisión es alrededor de 6×10^{10} joule. Una masa igual de hidrógeno producirá alrededor de (diez veces/un décimo) esta energía por medio de (fisión/fusión).

* * * * *

diez veces; fusión.

53. Conforme pasa el tiempo, el contenido de hidrógeno del Sol (aumenta/disminuye) y el contenido de helio (aumenta/disminuye) porque la energía emitida por el Sol es el resultado de la (fisión/fusión) de _____ en _____.

* * * * *

disminuye; aumenta; fusión; hidrógeno; helio.

54. La fabricación de bombas atómicas (fisión) y la fabricación de reactores nucleares que utilizan el uranio y otros materiales fisionables son prueba del hecho de que las reacciones de fisión pueden llevarse a cabo en la Tierra. Las reacciones de fusión son _____ y requieren temperaturas que (son/no son) fácilmente obtenibles en la superficie de la Tierra.

* * * * *

termonucleares; no son.

55. Las temperaturas que resultan de la *fisión* no controlada en las

bombas atómicas es alrededor de 1.000,000°C. Esto (es/no es) suficientemente caliente para iniciar una reacción termonuclear.

* * * * *

es.

56. $_1H^3 + {}_1H^2 \rightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1$. Esta es una reacción termonuclear que posiblemente ocurre en la bomba de hidrógeno. Un tipo de bomba consiste en un blindaje muy fuerte dentro del cual está una bomba ordinaria de fisión (atómica) y un recipiente que contiene deuterio (H^2) y tritio (H^3). La explosión de la bomba atómica crea la temperatura necesaria para la reacción de (fisión/fusión). En efecto, la bomba (de hidrógeno/atómica) "enciende" la bomba (de hidrógeno/atómica).

* * * * *

fusión; atómica; de hidrógeno.

57. La bomba atómica es el resultado de una reacción de (fisión/fusión). La bomba de hidrógeno suele llamarse bomba termonuclear porque es el resultado de una reacción de (fisión/fusión) no controlada y requiere una temperatura inicial de aproximadamente _____°C.

* * * * *

fisión; fusión; 1.000,000.

58. ¿Cuál produce más energía a partir de una masa dada de material Las bombas termonucleares de (fusión/fisión) son (más/menos) poderosas que las bombas atómicas.

* * * * *

fusión; más.

59. (1) $_0n^1 + {}_{92}U^{235} \rightarrow {}_{54}Xe^{140} + {}_{38}Sr^{94} + 2{}_0n^1$
(2) $_1H^3 + {}_1H^2 \rightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1$
(3) $_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_2He^4$

La ecuación [(1)/(2)/(3)] se aplica en la explosión de una bomba atómica y puede emplearse en la creación de condiciones necesarias para encender una bomba termonuclear. La ecuación [(1)/(2)/(3)] describe una reacción termonuclear.

* * * * *

(1); (2).

60. *Repaso.* A una separación de 1.9×10^{-15} metros, ¿cuál es la fuerza más grande que actúa entre dos protones? (nuclear/gravitacional/eléctrica); a una separación de 5×10^{-14} metros, la fuerza mayor entre dos protones es (nuclear/gravitacional/eléctrica).

* * * * *

nuclear; eléctrica.

61. *Repaso.* La fuerza nuclear que actúa entre dos protones es (menor que/igual a/mayor que) la fuerza nuclear entre dos neutrones. Por esta razón, decimos que la fuerza de atracción entre nucleones es_____.

* * * * *

igual a; independiente de la carga.

62. *Repaso.* En los núcleos pesados cualquier nucleón individual ejerce una fuerza de atracción efectiva (sobre todos los otros nucleones del núcleo/solamente sobre sus vecinos inmediatos). Por esta razón decimos que las fuerzas nucleares están_____. A separaciones (mayores/menores) que 2×10^{-14} metros, las fuerzas nucleares son insignificantes; por esta razón las llamamos fuerzas de_____.

* * * * *

solamente sobre sus vecinos inmediatos; saturados; mayores; corto alcance.

63. *Repaso.* Dentro del alcance en el cual son efectivas las fuerzas nucleares de atracción son alrededor de_____veces más fuertes que las fuerzas eléctricas de repulsión entre los protones.

* * * * *

100.

64. *Repaso.* El hecho de que se observa un máximo de la energía de amarre por nucleón de los isótopos que existen en la naturaleza es prueba de que las fuerzas nucleares están_____.

* * * * *

saturadas.

65. *Repaso.* Un gramo de material fisionable proporciona (más/

menos) energía cuando todos sus núcleos sufren fusión que un gramo de material fusionable cuando todos sus núcleos sufren la fusión.

* * * * *

menos.

66. *Repaso.* Una reacción nuclear que ocurre solamente cuando las substancias que reaccionan están a temperaturas de aproximadamente 1.000,000°C recibe el nombre de reacción _____.

* * * * *

termonuclear.

67. *Repaso.* ¿Cuáles de las siguientes son reacciones de fusión?

(1) $4({}_1H^1) \rightarrow {}_2He^4 + 2({}_{+1}e^0) +$ 2 neutrinos

(2) ${}_{88}Ra^{226} \rightarrow {}_{86}Rn^{222} + {}_2He^4$

(3) $2({}_1H^2) \rightarrow {}_2He^4$

(4) ${}_{29}Cu^{62} \rightarrow {}_{28}Ni^{62} + {}_{+1}e^0$

(5) ${}_0n^1 + {}_7N^{14} \rightarrow {}_6C^{14} + {}_1H^1$

(6) ${}_0n^1 + {}_{92}U^{235} \rightarrow {}_{56}Ba^{141} + {}_{36}Kr^{92} + 3{}_0n^1$

(7) ${}_0n^1 + {}_{92}U^{238} \rightarrow {}_{93}Np^{239} + {}_{-1}e^0$

(8) ${}_1H^2 + {}_1H^1 \rightarrow {}_2He^3$

* * * * *

(1); (3); (8).

Sección 9. Repaso y Problemas

1. Complete cada una de las siguientes ecuaciones nucleares.

(1) ${}_{90}Th^{234} \rightarrow$ _____ $+ {}_{-1}e^0$

(2) ${}_{84}Po^{218} \rightarrow {}_{82}Pb^{214} +$ _____

(3) ${}_{83}Bi^{214} \rightarrow {}_{84}Po^{214} +$ _____

(4) ${}_8O^{15} \rightarrow {}_7N^{15} +$ _____

(5) ${}_1H^3 + {}_1H^2 \rightarrow$ _____ $+ {}_0n^1$

(6) ${}_1H^1 + {}_3Li^7 \rightarrow {}_2He^4 +$ _____

(7) _____ $+ {}_{92}U^{235} \rightarrow {}_{54}Xe^{140} + {}_{38}Sr^{94} + 2{}_0n^1$

(8) ${}_2He^4 + {}_5B^{11} \rightarrow {}_7N^{14} +$ _____

(9) ${}_2He^4 + {}_7N^{14} \rightarrow {}_8O^{17} +$ _____

* * * * *

(1) ${}_{91}Pa^{234}$; (4) ${}_{+1}e^0$; (7) ${}_0n^1$;

(2) ${}_2He^4$; (5) ${}_2He^4$; (8) ${}_0n^1$;
(3) ${}_{-1}e^0$; (6) ${}_2He^4$; (9) ${}_1H^1$

2. Los isótopos radiactivos a menudo son llamados_____

* * * * *

radioisótopos.

3. (${}_{+1}e^0/{}_0n^1/{}_{-1}e^0/{}_1H^1$) es el símbolo empleado para representar la partícula β positiva. (${}_{+1}e^0/{}_0n^1/{}_{-1}e^0/{}_1H^1$) es el símbolo empleado para representar el protón.

* * * * *

${}_{+1}e^0$; ${}_1H^1$

4. La partícula β negativa es (un electrón/un positrón) emitido de un núcleo; la partícula β positiva es (un electrón/un positrón) emitido de un núcleo.

* * * * *

electrón; positrón.

5. El protón y el positrón tienen la misma (carga/masa). Los positrones son (algunas veces/nunca/siempre) emitidos por isótopos naturalmente radiactivos.

* * * * *

carga; nunca.

6. Vuelva a escribir las siguientes partículas en el orden de masas descendentes: neutrón, electrón, partícula α, neutrino.

* * * * *

partícula α; neutrón; electrón; neutrino.

7. Vuelva a escribir lo siguiente en el orden de las masas descendentes. protón, partícula α, fotón γ, positrón.

* * * * *

partícula α; protón; positrón, fotón γ.

8. Consulte el panel 25. Al final de 24 días ¿qué fracción permanece de una muestra de torio-234 puro?.

* * * * *

½

9. Un grupo de isótopos relacionados cada uno con el anterior en la relación de hijo a padre recibe el nombre de_____ _____.

* * * * *

serie radiactiva.

10. Exprese la ecuación nuclear para la descomposición beta de neutrones.

* * * * *

${}_0n^1 \rightarrow {}_1H^1 + {}_{-1}e^0$ (+ neutrino).

11. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) Las emisiones beta suelen estar acompañadas de neutrinos.
(2) Las emisiones alfa suelen estar acompañadas de neutrinos.
(3) Las emisiones de fotones gama resultan cuando un núcleo hijo pasa de un estado excitado a su estado base.
(4) Todos los isótopos del plomo son estables.
(5) La descomposición beta positiva ocurre con algunos isótopos naturalmente radiactivos.
(6) Un núcleo que tiene un exceso de neutrones y que por tanto es inestable, es probable que emita una partícula β positiva.
(7) La captura del electrón K es un mecanismo por medio del cual un núcleo inestable tiende a eliminar un exceso de protones.

* * * * *

(1); (3); (7).

12. Una unidad de masa atómica es equivalente a_____Mev.

* * * * *

931.

13. Utilice el panel 26 para calcular lo siguiente:
(1) El defecto de masa del carbono-12.
(2) La energía de amarre del carbono-12.
(3) La energía de amarre por nucleón para el carbono-12.

* * * * *

${}_6C^{12}$; 12.00000 uma $6({}_1H^1)$: 6.04692
$6({}_0n^1)$: 6.05202
12.09894
—12.00000
(1) defecto de masa = 0.09894 uma
(2) $E_B = (0.09894)(931) = 92.1$ Mev.

(3) $\dfrac{E_B}{A} = \dfrac{92.1 \text{ Mev}}{12 \text{ nucleones}} = 7.7 \text{ Mev/nucleón}$

14. Utilice el panel 26 para calcular la energía de amarre del oxígeno-16 con respecto a su disociación en una partícula α y carbono-12.

¿Puede esperarse que el oxígeno-12 emita una partícula α espontáneamente? (sí/no). Explique.

* * * * *

$_8O^{16}$: 15.9949 $_6C^{12}$: 12.0000
$_2He^4$: 4.0026
16.0026
—15.9949
0.0077 uma

$E_B = (0.0077)\ (931) = 7.17$ Mev (respecto a la disociación en $_6C^{12}$ + una partícula α).

¡No! Su energía de amarre con respecto a esta disociación es positiva.

15. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) Los isótopos que existen en la naturaleza algunas veces se descomponen radiactivamente emitiendo partículas β positivas.
(2) Los radioisótopos generalmente son estables.
(3) Algunos radioisótopos emiten partículas β positivas.
(4) Todos los radioisótopos emiten partículas β positivas.
(5) $_7N^{12} \rightarrow {}_6C^{12} + {}_{-1}e^0$
(6) $_{27}Co^{60} \rightarrow {}_{28}Ni^{60} + {}_{+1}e^0$
(7) $_{15}P^{30} \rightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_{+1}e^0$

* * * * *

(3); (7).

16. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) Para todos los isótopos estables el número de neutrones del núcleo es igual al número de protones.
(2) Los isótopos estables para los cuales $N = Z$ son aquellos que tienen números atómicos relativamente bajos.
(3) Los isótopos estables para los cuales $N = Z$ son aquellos con números atómicos relativamente altos.
(4) Los isótopos radiactivos que se encuentran arriba y a la izquierda

de la curva de estabilidad (panel 28) se descomponen de manera que aumentan sus números atómicos.

(5) La descomposición beta negativa caracteriza a los isótopos radiactivos que se encuentran abajo y a la derecha de la curva de estabilidad.

(6) La captura del electrón-K es un mecanismo para reducir un exceso de neutrones en un isótopo radiactivo.

(7) La descomposición por emisión de partículas alfa es característico de isótopos radiactivos pesados que se encuentran abajo y a la derecha de la curva de estabilidad.

* * * * *

(2); (4); (7).

17. ¿Cuáles de las siguientes emisiones está acompañada por la emisión de rayos X característicos?

(1) Emisión de partículas alfa.

(2) La emisión de partículas β negativas.

(3) La captura del electrón-K

(4) La emisión de partículas β positivas.

* * * * *

(3).

18. (1) ${}_1H^2 + {}_1H^2 \rightarrow {}_2He^4$

(2) ${}_{92}U^{236} \rightarrow {}_{56}Ba^{141} + {}_{36}Kr^{92} + 3{}_0n^1$

(3) ${}_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_2He^4$

(4) ${}_{92}U^{238} + {}_1n^0 \rightarrow {}_{93}Np^{239} + {}_{-1}e^0$

De las ecuaciones (1) a la (4), identifique (a) la reacción de fisión, (b) la reacción de fusión, (c) la descomposición de un isótopo naturalmente radiactivo, (d) la producción de un elemento transuránico.

* * * * *

(a)2; (b)1; (c)3; (d)4.

19. ¿Cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas?

(1) La energía cinética de un neutrón térmico es aproximadamente 200 Mev.

(2) La energía cinética de un neutrón térmico es aproximadamente 25 Mev.

(3) La energía cinética de los productos de fisión del U-235 es aproximadamente 200 Mev.

(4) La energía producida por la fisión nuclear es aproximadamente el doble de la producida por las reacciones químicas ordinarias.

(5) La fisión por protones del litio-7 puede sostenerse por medio de una reacción en cadena.
(6) El cadmio es muy buen absorbedor de neutrones y es, por tanto, un buen moderador en un reactor nuclear.
(7) $_{95}Am^{239}$ es un elemento transuránico.
(8) $_{90}Th^{234}$ es un elemento transuránico.

* * * * *

(3); (7).

20. Las tres características de las fuerzas nucleares son (1)_____, (2)_____y (3)_____

* * * * *

En cualquier orden: corto alcance, carga independiente, saturadas.

21. Las reacciones de fusión ocurren solamente cuando los reactantes son calentados a temperaturas de aproximadamente (100/1,000/1.000,000)°C. Por esta razón son llamadas reacciones_____

* * * * *

1.000,000; termonucleares.

22. Una bomba de (fisión/fusión) es encendida por el calor suministrado en una reacción de (fisión/fusión).

* * * * *

fusión; fisión.

23. Las reacciones nucleares que suministran la energía radiada por las estrellas son reacciones de (fisión/fusión). La serie de reacciones particulares que se cree suministran la energía radiada por nuestro Sol recibe el nombre de_____ _____.

* * * * *

fusión; ciclo del carbono.

24. El núcleo empleado en el ciclo del carbono es_____; el núcleo producido por el ciclo del carbono es_____.

* * * * *

$_1H^1$; $_2He^4$

25. A una separación de 1.9×10^{-15} m, la fuerza de mayor inten-

sidad que actúa entre dos protones es (eléctrica/gravitacional/nuclear).

A una separación de 7×10^{-14} m, la fuerza de mayor intensidad que actúa entre dos protones es (eléctrica/gravitacional/nuclear).

* * * * *

nuclear; eléctrica.

PROBLEMAS

1. Describa las emanaciones de los materiales radiactivos con respecto a la masa, carga eléctrica y velocidad.

2. Supongamos que se quitan las placas cargadas de la figura 1 del panel 18 y son reemplazadas por los polos de un imán, de manera que exista un fuerte campo magnético, a través del espacio en el que se mueven las emanaciones. Describa el efecto del campo magnético sobre partículas α, partículas β y fotones γ.

3. Compare las trayectorias de partículas α, partículas β y fotones γ dentro de una cámara de niebla. Explique las diferencias que existan.

4. Exprese las ecuaciones nucleares para lo siguiente:
(*a*) El uranio-238 se descompone por la emisión de una partícula α.
(*b*) El polonio-211 se descompone por la emisión de una partícula α.
(*c*) El plomo-212 se descompone en bismuto-212 y otra partícula.
(*d*) ${}_{91}Pa^{234}$ es el hijo de un isótopo que tiene el mismo número de masa.

5. (*a*) La vida media del torio-234 es 24 días. ¿Qué cantidad de una muestra original de 6.4×10^{-4} g de torio-234 permanece después de 96 días? (*b*) Si después de 4 días, un dieciseisavo de la masa original de una muestra es lo que queda de un cierto isótopo, ¿cuál es su vida media?

6. ¿En qué consiste la descomposición beta de neutrones?; describa sus productos. ¿Qué mecanismos sugiere para la descomposición beta radiactiva?

7. La masa isotópica del tritio (${}_1H^3$) es 3.01605 uma. ¿Cuál es el equivalente de esta masa en Mev? ¿En kg?

8. Defina (1) la energía de amarre de un núcleo y (2) la energía de amarre por nucleón. Calcule la energía de amarre del oxígeno-15. (Utilice el panel 26).

9. Utilice el panel 26 para calcular la energía de amarre por nucleón del carbono-13. Haga lo mismo para el carbono-12. ¿Cuál es más estable con respecto a la disociación completa?

10. Mencione un ejemplo de descomposición radiactiva.

11. Describa el positrón. ¿En qué tipo de reacción nuclear ocurre? ¿Cómo se llama cuando es una emanación de un núcleo radiactivo?

12. Escriba ecuaciones nucleares para lo siguiente:
(*a*) El aluminio-27 absorbe una partícula α y produce el radioisótopo fósforo-30.
(*b*) El fósforo-30 se descompone emitiendo una partícula β positiva.
(*c*) El carbono-14 se descompone por la emisión de una partícula β negativa.
(*d*) El silicio-27 decae a aluminio-27 y en el proceso emite otra partícula.

13. Utilice la gráfica del panel 28 para describir cuándo podemos esperar cada una de las siguientes formas de descomposición:
(*a*) La captura del electrón-*K*.
(*b*) Emisión β negativa.
(*c*) Emisión β positiva.
(*d*) Emisión alfa.

14. Mencione un ejemplo de la captura del electrón-*K* y describa cómo puede distinguirse experimentalmente de la emisión β positiva.

15. Exprese simbólicamente la ecuación nuclear que describe la fusión del litio-7. Explique por qué la fusión del litio *no* es una fuente efectiva de energía. A este respecto compárela con la fisión del uranio-235.

16. ¿Qué son neutrones térmicos? Explique por qué son importantes en la fisión del uranio.

17. Explique el significado del término *moderador* cuando se aplica a reacciones de fisión.

18. ¿Qué es la masa crítica de un material fisionable?

19. Explique cómo pueden ser producidos los elementos transuránicos. Cite dos de ellos y exprese las ecuaciones nucleares que muestren cómo son producidos.

20. Describa las fuerzas nucleares con respecto al alcance, dependencia de la carga, etc.

21. Compare la fisión y fusión nucleares con respecto a la energía y los productos obtenidos. ¿Existe una masa crítica necesaria para una reacción de fusión? Explique.

22. Describa la energía de amarre por nucleón de acuerdo con la curva y explique cómo podemos determinarla a partir de ésta en el caso de que se emita energía en reacciones de fusión o fisión.

23. Describa el ciclo del carbono y exprese la ecuación nuclear que describa la reacción general que ocurre en el ciclo.

24. Explique por qué las reacciones de fusión suelen llamarse reacciones *termonucleares.*

***Panel* 1**

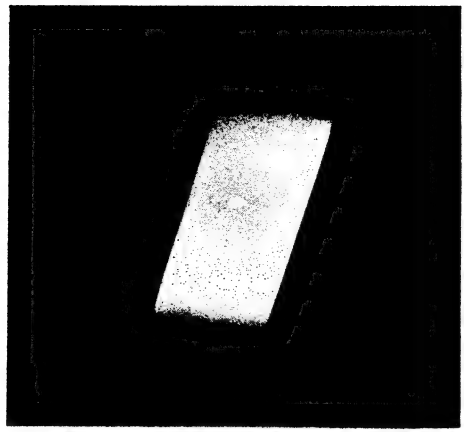


FIG-1 Esta es una fotografía de un cilindro hueco de tungsteno, el cual se encuentra en estado incandescente. Se ha taladrado un pequeño agujero en su superficie lateral. La luz que se empleó para tomar la fotografía es la que fue emitida por el cilindro. (Tomada del libro *Physics* de Halliday y Resnick, John Wiley and Sons)

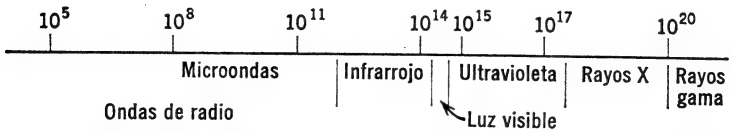


FIG-2 El espectro electromagnético. Las potencias de diez arriba de la línea se refieren a las frecuencias en Hertz (ciclos por segundo).

Panel 2

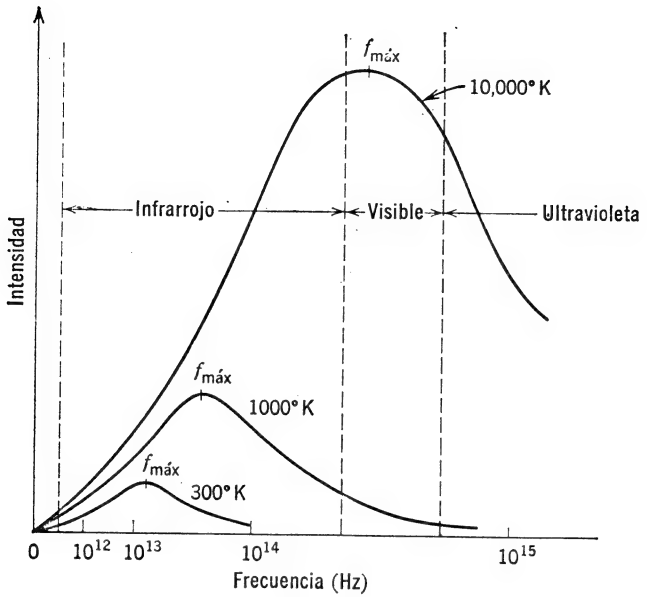


FIG-1 Esta es una gráfica de la intensidad de la radiación de la calidad en función de la frecuencia de la radiación emitida. Cada una de las tres curvas representa la relación entre la intensidad y la frecuencia de la radiación a diferentes temperaturas. Existe cierta distorsión a fin de hacer resaltar los aspectos cualitativos de la relación (adaptada del libro *Physics* de K. R. Atkins, John Wiley and Sons).

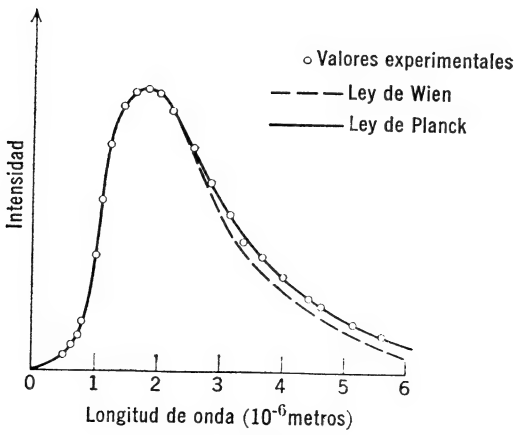
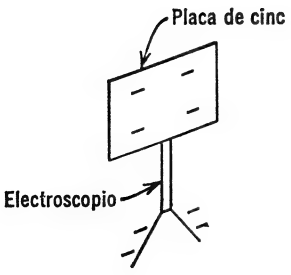
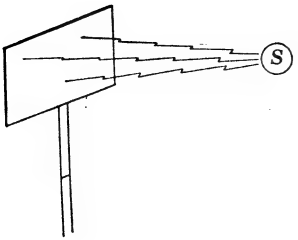


FIG-2

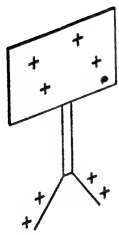


Todo el aparato se encierra en un vacío.

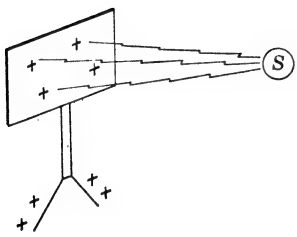
1. En la figura 1 se aplica una carga negativa a una placa de cinc que tiene una superficie perfectamente limpia y que está unida a un electroscopio.



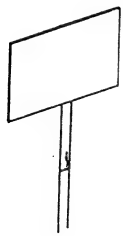
2. Cuando una fuente (*S*) de luz ultravioleta ilumina la placa de cinc, las hojas del electroscopio se juntan. (Figura 2.)



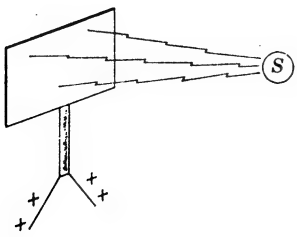
3. En la figura 3 se aplica una carga positiva a la placa de cinc; las hojas del electroscopio se separan.



4. Cuando la fuente de luz ultravioleta ilumina esta placa de cinc, nada ocurre; las hojas permanecen separadas (Figura 4.)



5. La placa de cinc y el electroscopio que está unido a ella se descargan (Figura 5.)



6. Cuando la radiación ultravioleta se aproxima al cinc, las hojas se separan. Trate de demostrar que el electroscopio está cargado *positivamente* (Fig. 6).

Panel 4

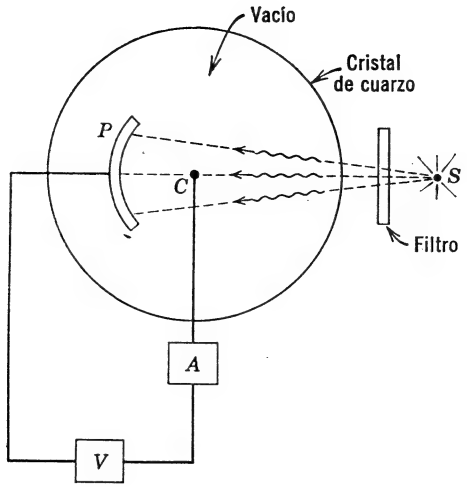


FIG-1 Aparato empleado para estudiar el efecto fotoeléctrico.

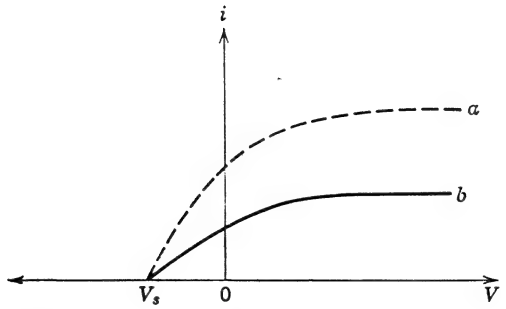


FIG-2 Esta es una gráfica de la corriente fotoeléctrica representada en función de la diferencia de potencial entre *P* y *C* de la figura 1. Los valores de *V* a la derecha del origen representan diferencias de potencial cuando *C* es positivo con respecto a *P*; los valores de *V* a la izquierda del origen representa diferencias de potencial cuando *C* es *negativo* con respecto a *P*. Las ondas monocromáticas empleadas para obtener la curva *a* tienen la *misma frecuencia* que las empleadas para obtener la curva *b*; la *intensidad* de la radiación en *a* es lo doble de la empleada en *b*.

Panel 5

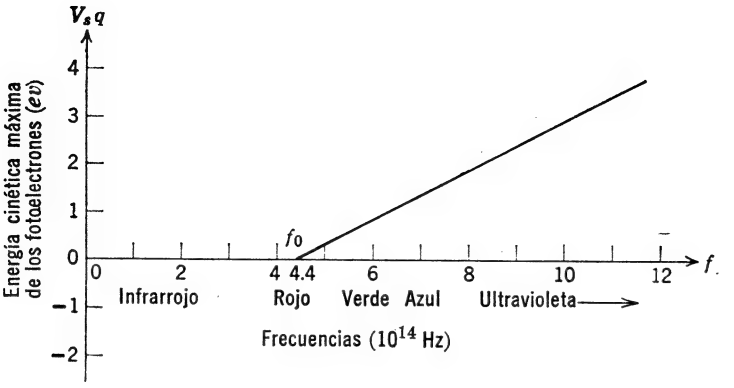


FIG-1

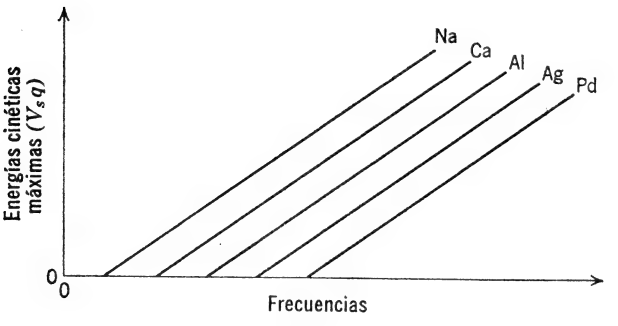


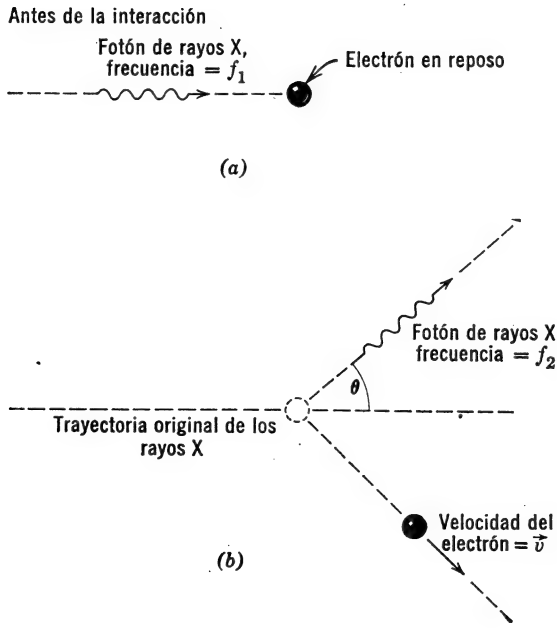
FIG-2

Tabla de trabajo y funciones para varios metales.

Metal	Función de trabajo (en ev)
Aluminio (Al)	4.2
Cesium (Cs)	1.9
Paladium (Pd)	4.97
Potasio (K)	2.0
Plata (Ag)	4.46
Sodio (Na)	2.3
Cinc (Zn)	3.6

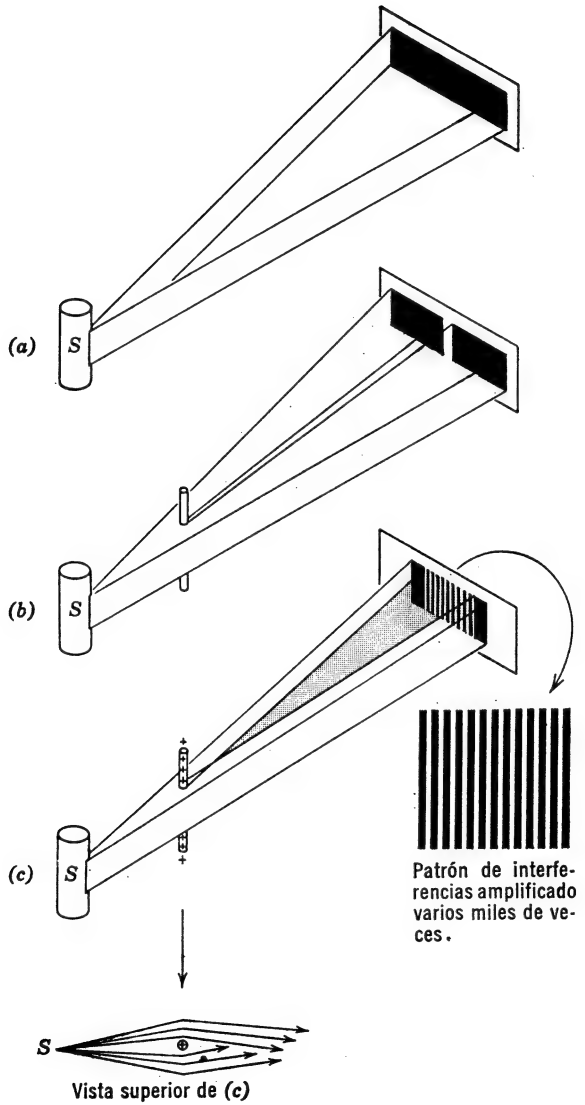
FIG-3

Panel 6


Antes de la interacción
Fotón de rayos X, frecuencia = f_1
Electrón en reposo
(a)
Fotón de rayos X, frecuencia = f_2
θ
Trayectoria original de los rayos X
Velocidad del electrón = $\vec{v}$
(b)

Panel 6

Panel 7


(a)
S
(b)
S
(c)
S
Patrón de interferencias amplificado varios miles de veces.
S
Vista superior de (c)

Panel 7

Panel 8

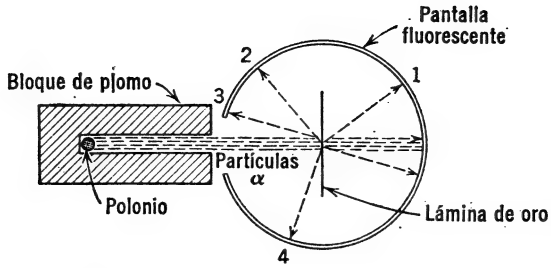


FIG-1 Esquema del aparato empleado para estudar la dispersión de partículas alfa. Todo se encuentra encerrado en un recipiente que está al vacío.

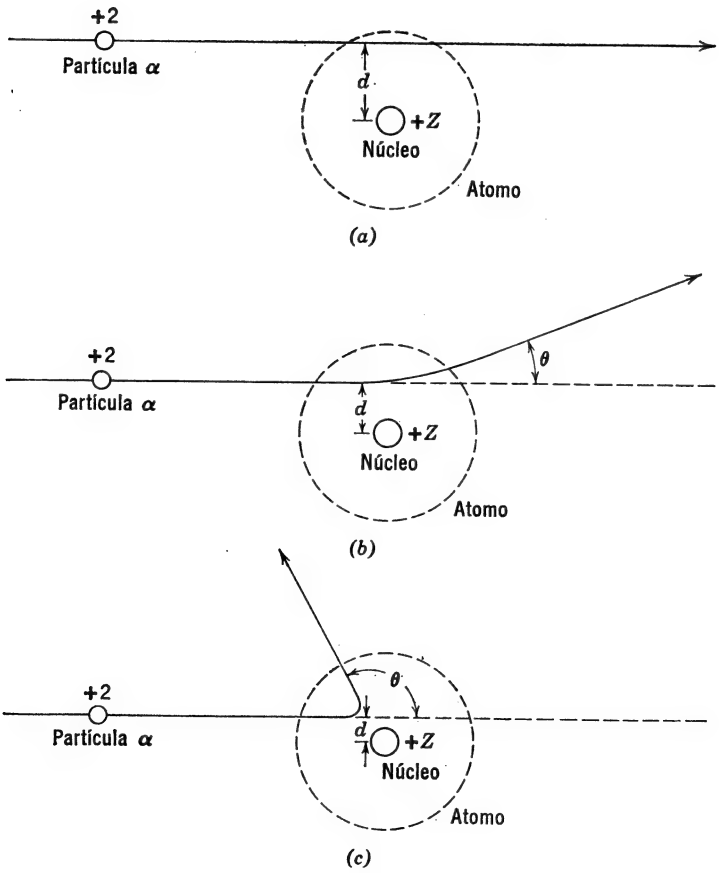


FIG-2

Elemento	*Símbolo*	*Número Atómico* (Z)
Hidrógeno	**H**	1
Helio	**He**	2
Litio	**Li**	3
Berilio	**Be**	4
Carbono	**C**	6
Nitrógeno	**N**	7
Oxígeno	**O**	8
Flúor	**F**	9
Aluminio	**Al**	13
Hierro	**Fe**	26
Plata	**Ag**	47
Estaño	**Sn**	50
Platino	**Pt**	78
Oro	**Au**	79
Mercurio	**Hg**	80
Plomo	**Pb**	82

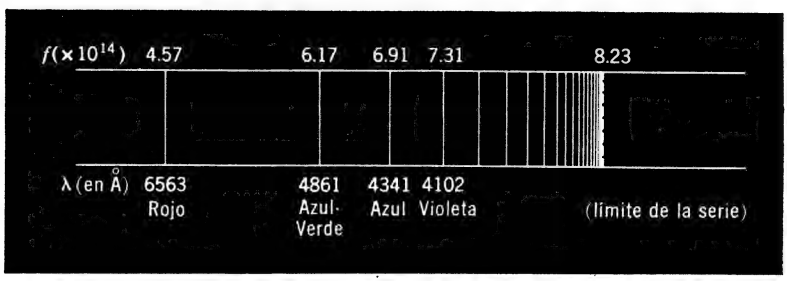


FIG-1 El espectro visible del hidrógeno. La línea punteada en 3646 Å representa el límite calculado para esta serie.

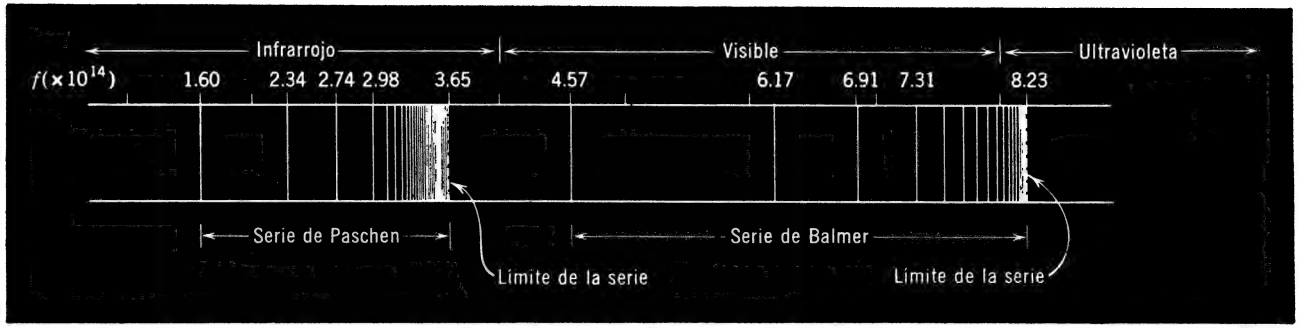


FIG-2 La serie espectral observada para el hidrógeno en las regiones infrarroja y visilbe del espectro electromagnético.

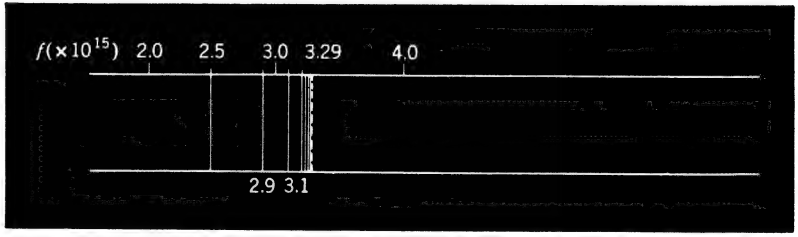


FIG-3 Las líneas espectrales de la serie de Lyman para el hidrógeno.

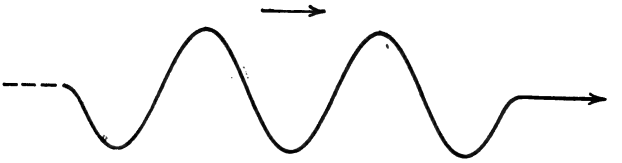


FIG-1

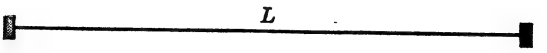


FIG-2

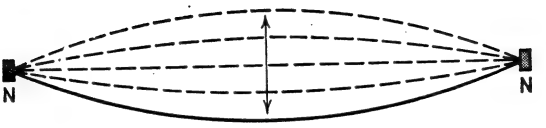


FIG-3

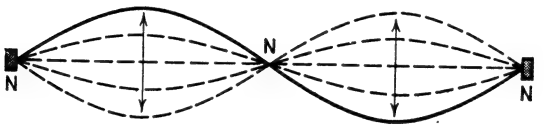


FIG-4

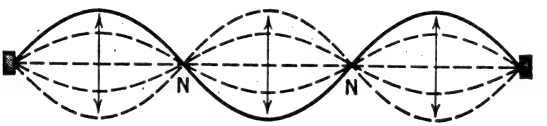


FIG-5

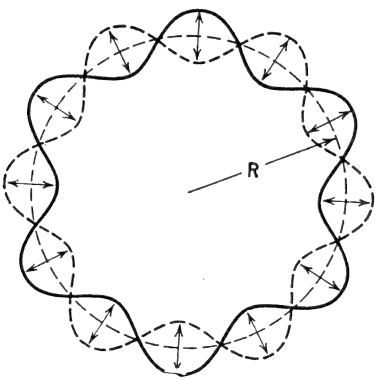


FIG-6 Una posible onda estacionaria asociada al electrón en un átomo de hidrógeno. En la actualidad sabemos que estas ondas son en realidad mucho más complicadas que ésta, y que además son esféricas, es decir, tridimensionales.

Panel 12

I. El átomo de hidrógeno está compuesto por un electrón con una carga e y un núcleo con una carga Ze. (Aunque sabemos que $Z = 1$ para el hidrógeno, en general emplearemos Ze en caso de que esta teoría pueda aplicarse a otros átomos así como al átomo de hidrógeno). La fuerza centrípeta que mantiene al electrón en su órbita es:

$$(1)\quad F = \frac{kZe^2}{R^2}$$

II. El electrón puede moverse en ciertas órbitas permitidas sin emitir ondas electromagnéticas. Estas órbitas permitidas están cuantizadas de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$(2)\quad mvR = \frac{nh}{2\pi}.$$

donde $n = 1, 2, 3, \ldots$, h es la constante de Planck y m y v son la masa y la velocidad del electrón, respectivamente.

III. Siempre que un electrón salta, de una órbita permitida donde tiene una energía E_i a otra órbita permitida donde tiene una energía menor E_f, emite un fotón con una energía.

$$(3)\quad hf = E_i - E_f$$

donde f es la frecuencia de la onda electromagnética asociada con el fotón.

(1) A partir de la suposición I del panel 12

$$F = \frac{kZe^2}{R^2} \quad \text{y} \quad F = \frac{mv^2}{R}$$

(2) $$\frac{mv^2}{R} = \frac{kZe^2}{R^2}$$

(3) Resolviendo (2) para R

$$R = \frac{kZe^2}{mv^2}$$

(4) A partir de la suposición II del panel 12.

$$mvR = \frac{nh}{2\pi}$$

(5) Resolviendo (4) para v

$$v = \frac{nh}{2\pi mR}$$

(6) Substituyendo $\frac{nh}{2\pi mR}$ de (5) para v en (3) y resolviendo para R,

$$R = \frac{n^2h^2}{4\pi^2kZe^2m}$$

(7) Substituyendo en el segundo miembro de (6) la expresión para R en (5), obtenemos

$$v = \frac{2\pi kZe^2}{nh}$$

(8) La energía total E del electrón es la suma de su energía cinética E_k y su energía potencial U:

$$E = U + E_k$$

(9) $E_k = \frac{1}{2} mv^2$ y $U = -\frac{kZe^2}{R}$

La energía potencial es negativa porque la carga del electrón es negativa.

(10) De (8) y (9).

$$E = -\frac{kZe^2}{R} + \frac{1}{2}mv^2$$

(11) En la ecuación (10) substituimos $\frac{n^2h^2}{4\pi^2kZe^2m}$ para R y $\frac{2\pi kZe^2}{nh}$ a partir de la ecuación (7) para v; entonces

$$E = -\frac{2\pi^2k^2Z^2e^4m}{h^2}\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

(12) De acuerdo con la suposición III del panel 12.

$$hf = E_i - E_f$$

(13) Sean $n = n_i$ cuando el electrón se encuentra en su órbita inicial y tiene una energía total E_i; sea $n = n_f$ cuando el electrón se ha movido a otra órbita permitida con una energía total menor E_f, entonces

$$E_i = -\frac{2\pi^2k^2Z^2e^4m}{h^2}\left(\frac{1}{n_i^2}\right) \quad \text{y} \quad E_f = -\frac{2\pi^2k^2Z^2e^4m}{h^2}\left(\frac{1}{n_f^2}\right)$$

(14) Substituyendo los segundos miembros de las ecuaciones en (13) para E_f y E_i en (12).

$$hf = \frac{2\pi^2k^2Z^2e^4m}{h^2}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

Panel 14

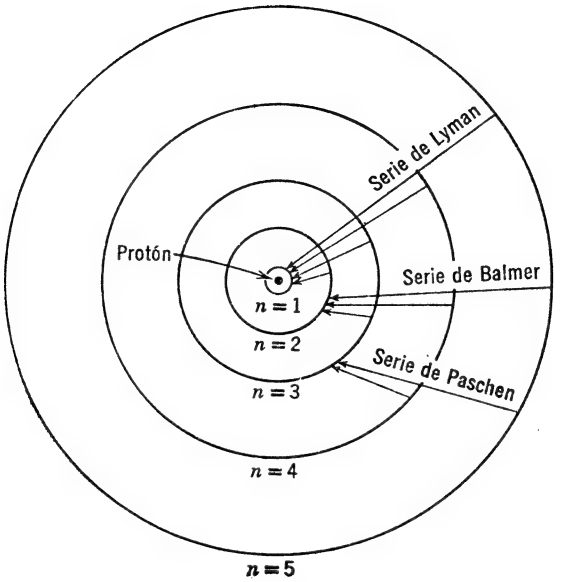


FIG-1 Un dibujo a escala de las cinco órbitas inferiores del átomo de hidrógeno de Bohr mostrando los posibles saltos electrónicos.

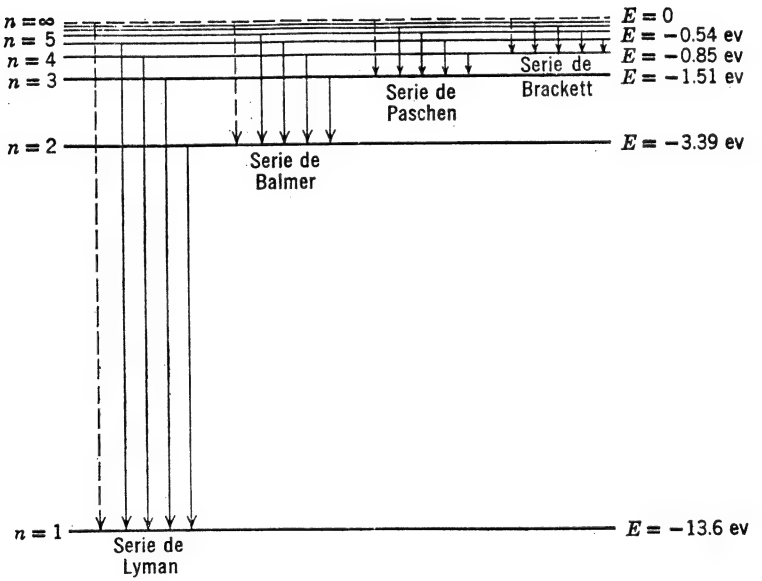


FIG-2 Diagrama de los niveles de energía para el átomo de hidrógeno. Las flechas verticales punteadas representan los límites de las series. Aquí aparecen unos cuantos miembros de cada una de las series espectrales.

Panel 15

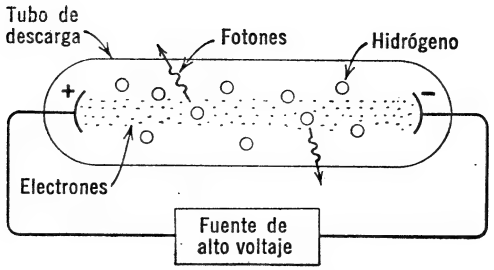


FIG-1 Un tubo de descarga eléctrica que contiene en su interior hidrógeno a *baja* presión. La fuente de alto voltaje acelera los electrones libres a través del espacio entre electrodos. Conforme estos electrones libres chocan con los electrones de los átomos de hidrógeno algunos de estos últimos son desalojados de sus estados base. Los fotones son causantes del brillo característico que produce la descarga eléctrica a través del hidrógeno.

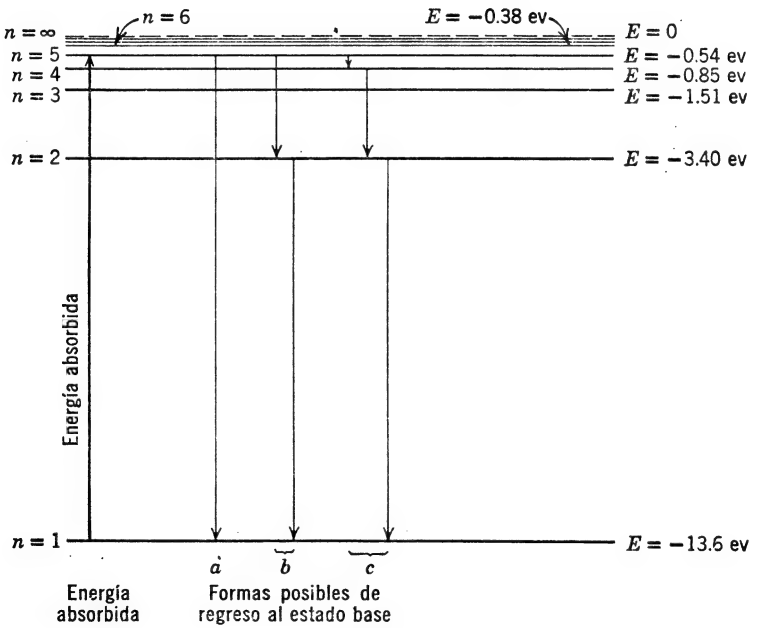


FIG-2

Energías de ionización necesarias para sacar al electrón de un átomo de hidrógeno y de iones estructuralmente semejantes.

Elemento	*Símbolo*	*Z*	*Energía de Ionización en Electrón Volts*
Hidrógeno	H	1	13.6
Helio (monoionizado)	He^{+}	2	54.4
Litio (doblemente ionizado)	Li^{++}	3	122.4
Berilio (triplemente ionizado)	Be^{+3}	4	217.7
Boro (tetraionizado)	B^{+4}	5	340.1

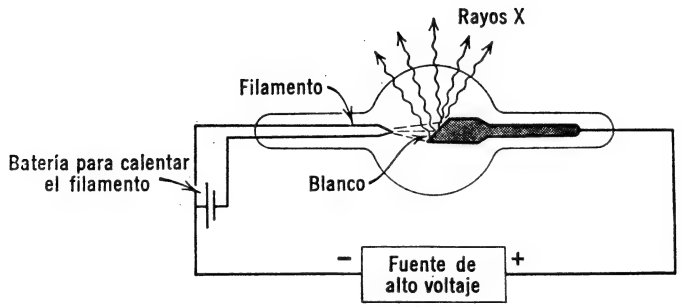


FIG-1 Un tubo de rayos X.

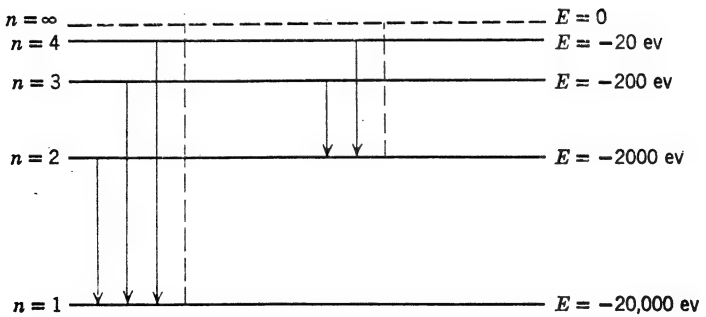


FIG-2 Niveles hipostáticos de energía para los rayos X para un elemento con $Z = 40$.

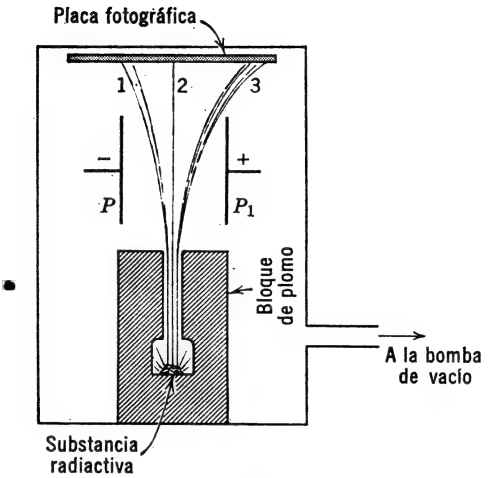


Fig. 1

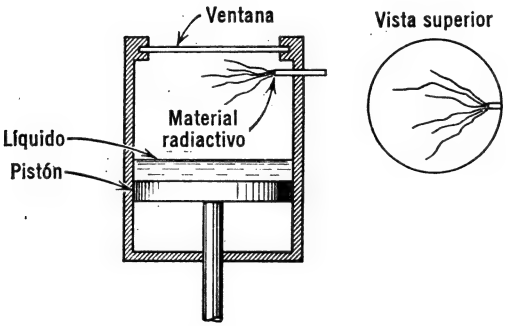


FIG-2 Una cámara de niebla. El vapor del líquido se mezcla con el gas que se encuentra arriba de él hasta que llegan a un estado de equilibrio. En este punto, se dice que el gas está saturado. La capacidad del gas para las moléculas de vapor procedente del líquido disminuye en relación directa con la temperatura del gas de manera que si la temperatura del gas desciende repentinamente, el gas queda supersaturado y las moléculas de vapor comienzan a condensarse y vuelven al estado líquido. Es muy probable que esta condensación ocurra donde existan partículas extrañas sobre las cuales se puedan formar las gotitas. Los iones proporcionan puntos de condensación especialmente favorables. Si la cámara se ilumina a través de la ventana un obseravdor puede ver cómo se van formando las gotitas. Una partícula ionizante que atraviese la cámara dejará una estela de iones sobre los cuales se forman las gotitas.

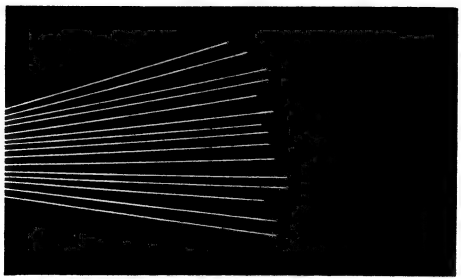


FIG-1 Partículas alfa de un isótopo radiactivo.

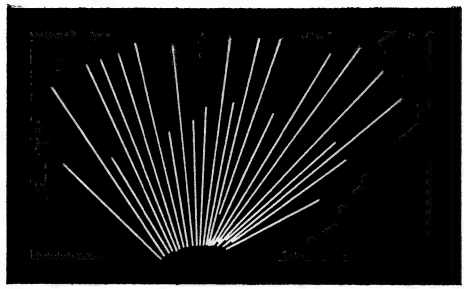


FIG-2 Trayectorias de partículas alfa de una fuente que contiene una mezcla de bismuto y polonio radiactivos.

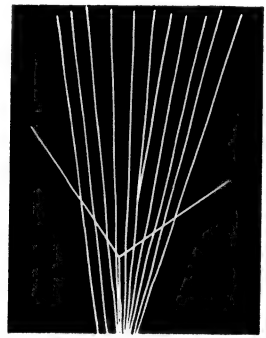


FIG-3 Rayos gamma en helio saturado con vapor de agua. Una partícula α choca con un átomo de helio. Las dos trayectorias forman entre sí un ángulo de 90°.

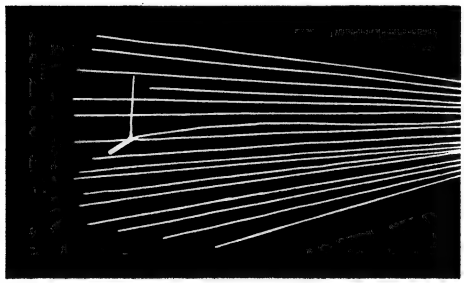


FIG-4 Rayos alfa en nitrógeno saturado con vapor de agua. Una partícula α chocó con un núcleo de nitrógeno y rebotó hacia abajo.

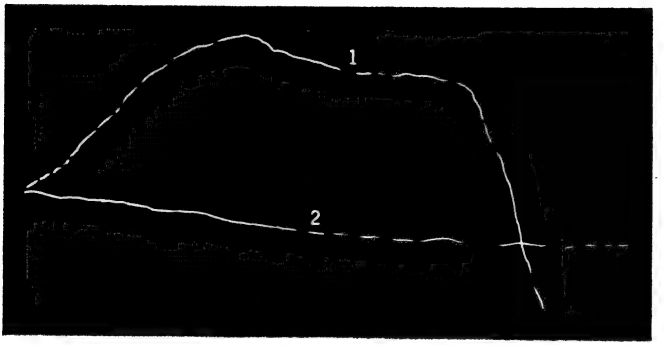


FIG-1 Trayectorias de partículas β lentas y rápidas.

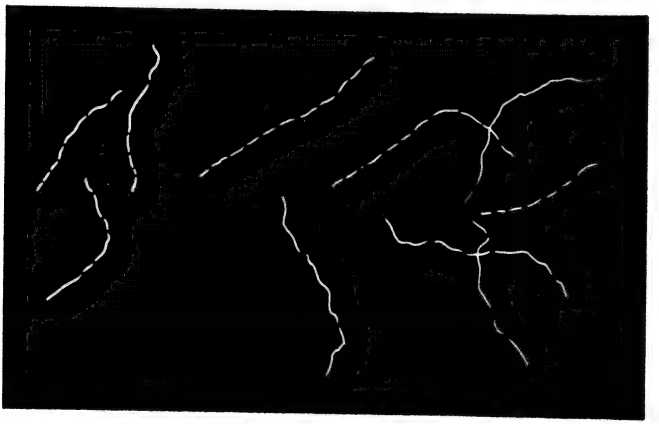


FIG-2 Trayectorias trazadas por electrones expulsados de las moléculas por un rayo γ que atraviesa una cámara de niebla de izquierda a derecha.

Energías (por molécula) que se producen en interacciones químicas y físicas usuales

Combustión del carbono	4ev
Combustión de la gasolina	40ev
Descomposición del agua en hidrógeno y oxígeno	2ev
Descomposición del TNT	30ev
Remoción del electrón más externo del sodio	5ev
Remoción de los dos electrones del helio	80ev
Remoción del electrón del hidrógeno	14ev

Lista alfabética de los elementos, sus símbolos y sus números atómicos

Elemento	*Símbolo*	*Número atómico*	*Elemento*	*Símbolo*	*Número atómico*
Actinio	Ac	89	Berkelio	Bk	97
Aluminio	Al	13	Bismuto	Bi	83
Americio	Am	95	Boro	B	5
Antimonio	Sb	51	Bromo	Br	35
Argón	A	18	Cadmio	Cd	48
Arsénico	As	33	Calcio	Ca	20
Astatino	At	85	Californio	Cf	98
Azufre	S	16	Carbono	C	6
Bario	Ba	56	Cerio	Ce	58
Berilio	Be	4	Cesio	Cs	55

Cinc	Zn	30	Nitrógeno	N	7
Cloro	Cl	17	Nobelio	No	102
Cobalto	Co	27	Oro	Au	79
Cobre	Cu	29	Osmio	Os	76
Cromo	Cr	24	Oxígeno	O	8
Curio	Cm	96	Paladio	Pd	46
Disprosio	Dy	66	Plata	Ag	47
Eistenio	E	99	Platino	Pt	78
Erbio	Er	68	Plomo	Pb	82
Escandio	Sc	21	Plutonio	Pu	94
Estaño	Sn	50	Polonio	Po	84
Estroncio	Sr	38	Potasio	K	19
Europio	Eu	63	Praseodimio	Pr	59
Fermio	Fm	100	Prometeo	Pm	61
Flúor	F	9	Protactinio	Pa	91
Fósforo	P	15	Radio	Ra	88
Francio	Fr	87	Radón	Rn	86
Gadolinio	Gd	64	Renio	Re	75
Galio	Ga	31	Rodio	Rh	45
Germanio	Ge	32	Rubidio	Rb	37
Hafnio	Hf	72	Rutenio	Ru	44
Helio	He	2	Samario	Sm	62
Hidrógeno	H	1	Selenio	Se	34
Hierro	Fe	26	Silicio	Si	14
Holmio	Ho	67	Sodio	Na	11
Indio	In	49	Talio	Tl	81
Iridio	Ir	77	Tántalo	Ta	73
Kriptón	Ky	36	Tecnecio	Tc	43
Lantano	La	57	Telurio	Te	52
Litio	Li	3	Terbio	Tb	65
Lutecio	Lu	71	Titanio	Ti	22
Magnesio	Mg	12	Torio	Th	90
Manganeso	Mn	25	Tulio	Tm	69
Mendelevio	Mv	101	Tungsteno	W	74
Mercurio	Hg	80	Uranio	U	92
Molibdeno	Mo	42	Vanadio	V	23
Neodimio	Nd	60	Xenón	Xe	54
Neón	Ne	10	Yodo	I	53
Neptunio	Np	93	Yterbio	Yb	70
Niobio	Nb	41	Ytrio	Y	39
Níquel	Ni	28	Zirconio	Zr	40

Lista de los elementos de acuerdo con sus números atómicos

Z	*Elemento*	*Símbolo*			
1	Hidrógeno	H	11	Sodio	Na
2	Helio	He	12	Magnesio	Mg
3	Litio	Li	13	Aluminio	Al
4	Berilio	Be	14	Silicio	Si
5	Boro	B	15	Fósforo	P
6	Carbono	C	16	Azufre	S
7	Nitrógeno	N	17	Cloro	Cl
8	Oxígeno	O	18	Argón	A
9	Flúor	F	19	Potasio	K
10	Neón	Ne	20	Calcio	Ca

Z	*Elemento*	*Símbolo*			
21	Escandio	Sc	62	Samario	Sm
22	Titanio	Ti	63	Europio	Eu
23	Vanadio	V	64	Gadolinio	Gd
24	Cromo	Cr	65	Terbio	Tb
25	Manganeso	Mn	66	Disprosio	Dy
26	Hierro	Fe	67	Holmio	Ho
27	Cobalto	Co	68	Erbio	Er
28	Níquel	Ni	69	Tulio	Tm
29	Cobre	Cu	70	Yterbio	Yb
30	Cinc	Zn	71	Lutecio	Lu
31	Galio	Ga	72	Hafnio	Hf
32	Germanio	Ge	73	Tántalo	Ta
33	Arsénico	As	74	Tungsteno	W
34	Selenio	Se	75	Renio	Re
35	Bromo	Br	76	Osmio	Os
36	Kriptón	Kr	77	Iridio	Ir
37	Rubidio	Rb	78	Platino	Pt
38	Estroncio	Sr	79	Oro	Au
39	Ytrio	Y	80	Mercurio	Hg
40	Zirconio	Zr	81	Talio	Tl
41	Niobio	Nb	82	Plomo	Pb
42	Molibdeno	Mo	83	Bismuto	Bi
43	Tecnecio	Tc	84	Polonio	Po
44	Rutenio	Ru	85	Astatino	At
45	Rodio	Rh	86	Radón	Rn
46	Paladio	Pd	87	Francio	Fr
47	Plata	Ag	88	Radio	Ra
48	Cadmio	Cd	89	Actinio	Ac
49	Indio	In	90	Torio	Th
50	Estaño	Sn	91	Protactinio	Pa
51	Antimonio	Sb	92	Uranio	U
52	Telurio	Te	93	Neptunio	Np
53	Yodo	I	94	Plutonio	Pu
54	Xenón	Xe	95	Americio	Am
55	Cesio	Ce	96	Curio	Cm
56	Bario	Ba	97	Berkelio	Bk
57	Lantano	La	98	Californio	Cf
58	Cerio	Ce	99	Einstenio	E
59	Praseodimio	Pr	100	Fermio	Fm
60	Neodimio	Nd	101	Mendelevio	Mv
61	Prometeo	Pm	102	Nobelio	No

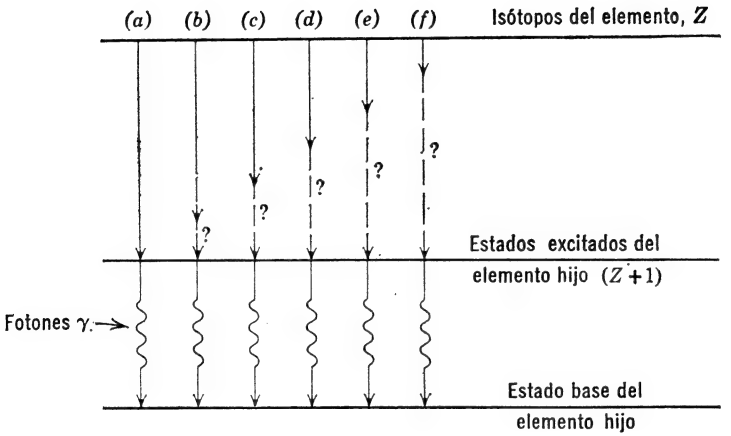


FIG-1 Diagrama que representa la emisión de partículas β de núcleos de los mismos isótopos de un elemento con número atómico Z.

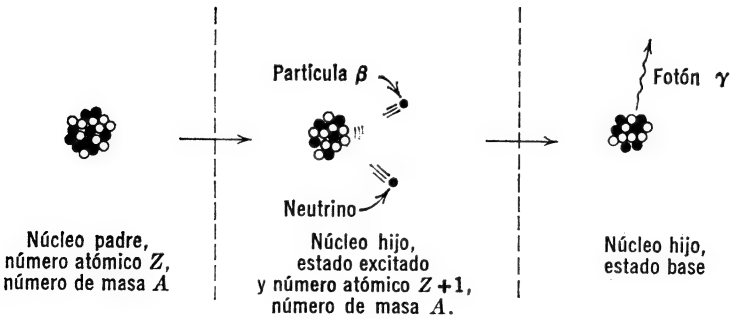


FIG-2

Isótopo	*Símbolo*	*Partícula Emitida*	*Vida Media*
Uranio-238	$_{92}U^{238}$	α	4.5×10^9 años
Torio-234	$_{90}Th^{234}$	β	24 días
Protactinio-234	$_{91}Pa^{234}$	β	1.2 minutos
Uranio-234	$_{92}U^{234}$	α	2.5×10^5 años
Torio-230	$_{90}Th^{230}$	α	8×10^4 años
Radio-226	$_{88}Ra^{226}$	α	1 620 años
Radón-222	$_{86}Rn^{222}$	α	3.82 días
Polonio-218	$_{84}Po^{218}$	α	3 minutos
Plomo-214	$_{82}Pb^{214}$	β	27 minutos
Bismuto-214	$_{83}Bi^{214}$	β	19 minutos
Polonio-214	$_{84}Po^{214}$	α	1.6×10^{-4} seg
Plomo-210	$_{82}Pb^{210}$	β	22 años
Bismuto-210	$_{83}Bi^{210}$	β	5 días
Polonio-210	$_{84}Po^{210}$	α	138 días
Plomo-206	$_{82}Pb^{206}$	—	estable

Panel 26

Algunas masas isotópicas		*Número de Masa Isotópica*		
Número atómico	*Nombre*	*Símbolo*	*Masa*	*(u m a)*
0	Neutrón	${}_0n^1$	1	1.00867
1	Hidrógeno	${}_1H^1$	1	1.00782
1	Deuterio	${}_1H^2$	2	2.01410
1	Tritio	${}_2H^3$	3	3.01605
2	Helio-3	${}_2He^3$	3	3.01603
2	Helio-4	${}_2He^4$	4	4.00260
2	Helio-5	${}_2He^5$	5	5.01229
3	Litio-6	${}_3Li^6$	6	6.01513
3	Litio-7	${}_3Li^7$	7	7.01601
6	Carbono-12	${}_4C^{12}$	12	12.00000
6	Carbono-13	${}_6C^{13}$	13	13.00335
7	Nitrógeno-13	${}_7N^{13}$	13	13.0057
7	Nitrógeno-14	${}_7N^{14}$	14	14.0031
7	Nitrógeno-15	${}_7N^{15}$	15	15.0001
7	Nitrógeno-16	${}_7N^{16}$	16	16.0061
8	Oxígeno-15	${}_8O^{15}$	15	15.0030
8	Oxígeno-16	${}_8O^{16}$	16	15.99491
8	Oxígeno-17	${}_8O^{17}$	17	16.99914
8	Oxígeno-18	${}_8O^{18}$	18	17.99916
17	Cloro-35	${}_{17}Cl^{35}$	35	34.96885
17	Cloro-37	${}_{17}Cl^{37}$	37	36.96590
45	Rodio-103	${}_{45}Rh^{103}$	103	102.9048
47	Plata-107	${}_{47}Ag^{107}$	107	106.9041
47	Plata-109	${}_{47}Ag^{109}$	109	108.9047
54	Xenón-134	${}_{54}Xe^{134}$	184	133.8054
74	Tungsteno-184	${}_{74}W^{184}$	184	183.9510
86	Radón-222	${}_{86}Rn^{222}$	222	222.0175
88	Radio-226	${}_{88}Ra^{226}$	226	226.0254
92	Uranio-234	${}_{92}U^{234}$	234	234.0409
92	Uranio-235	${}_{92}U^{235}$	235	235.0439
92	Uranio-238	${}_{92}U^{238}$	238	238.0508

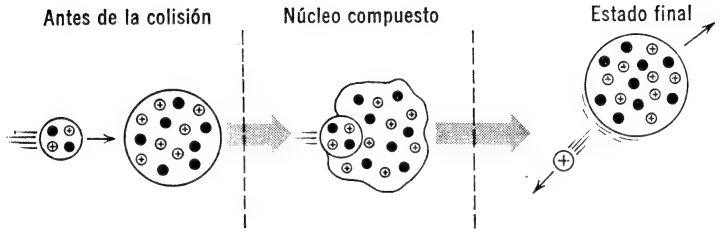


FIG-1 Una partícula α de alta velocidad choca con un núcleo de $_7N^{14}$.

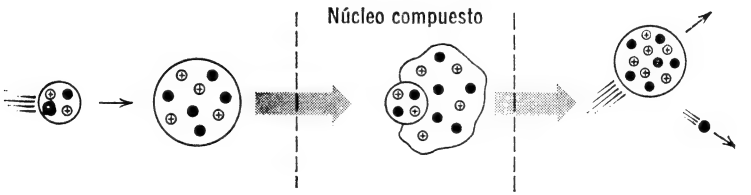


FIG-2 Una partícula α de alta velocidad choca con un núcleo de $_4Be^9$.

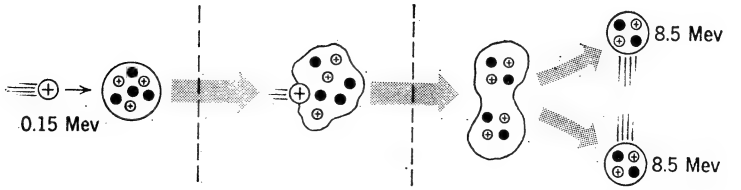


FIG-3 Un protón de alta velocidad penetra un núcleo de litio 7.

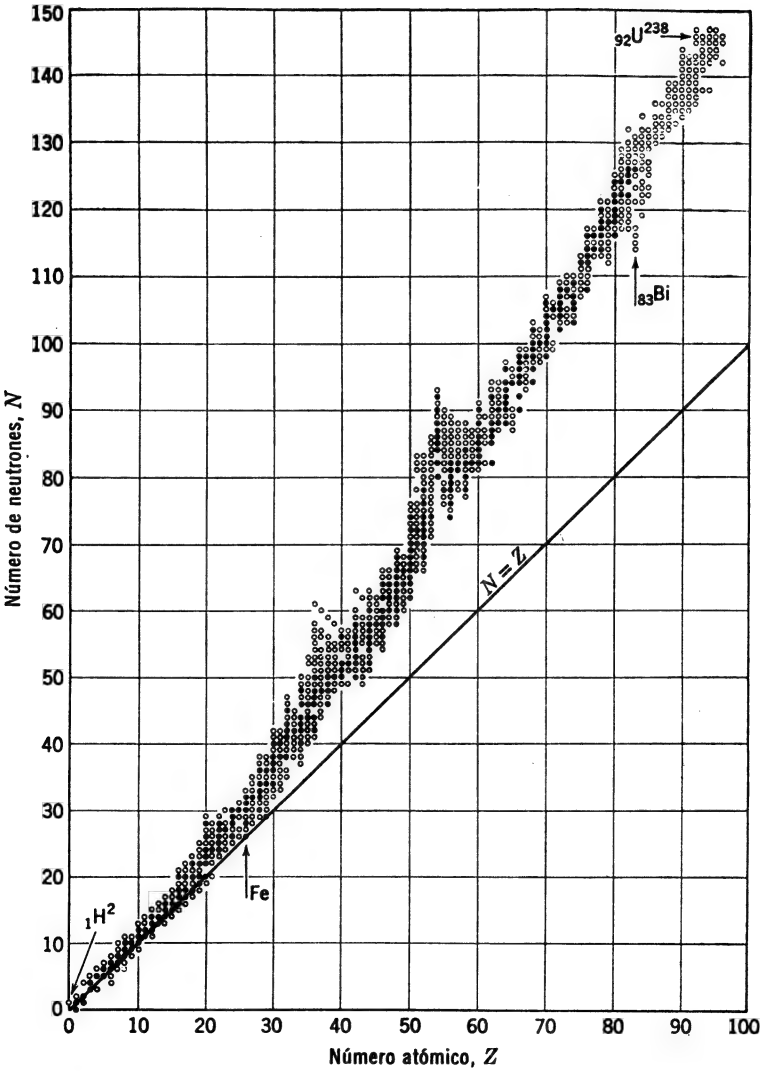

150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Número de neutrones, N
Número atómico, Z
92U238
83Bi
N = Z
Fe
1H2

FIG-1

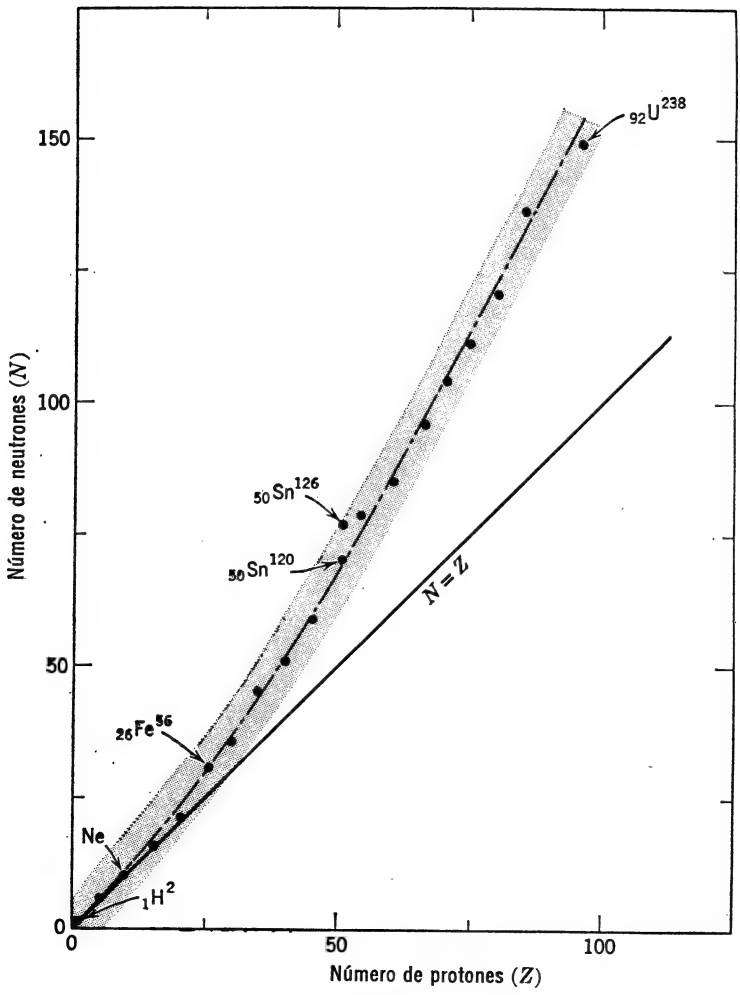

150
100
50
0
0
50
100
Número de neutrones (N)
Número de protones (Z)
92U238
50Sn126
50Sn120
N = Z
26Fe56
Ne
1H2

FIG-2

Panel 29

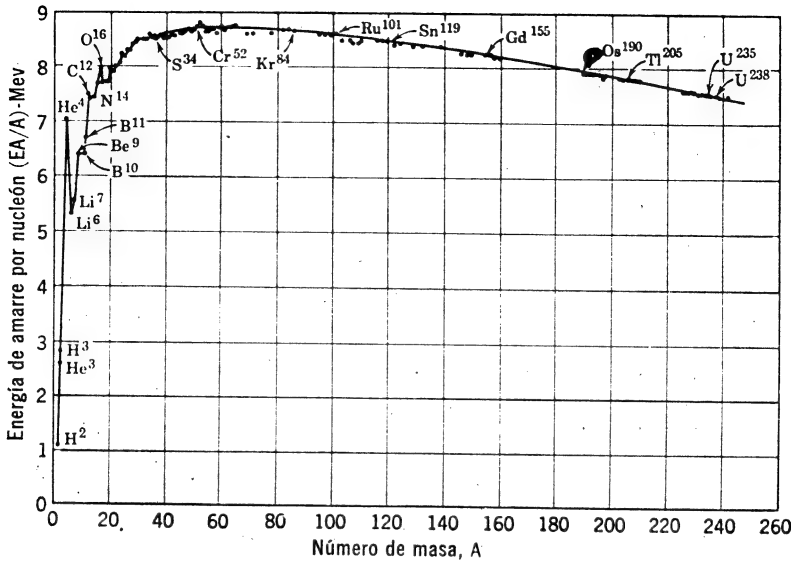
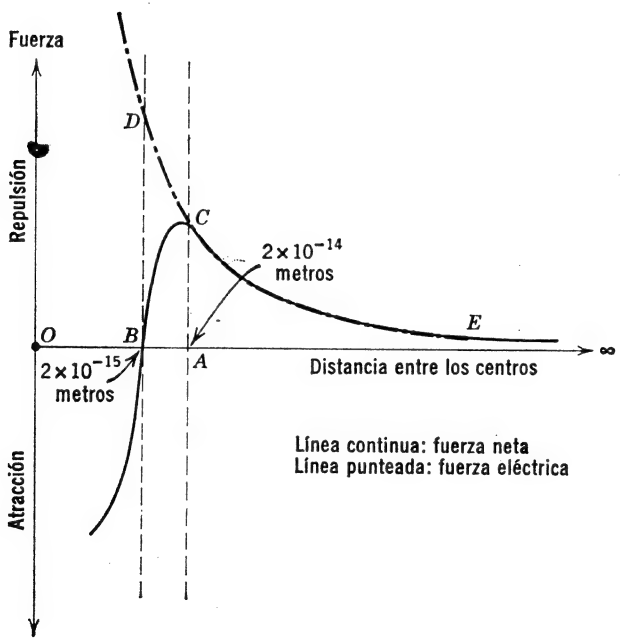


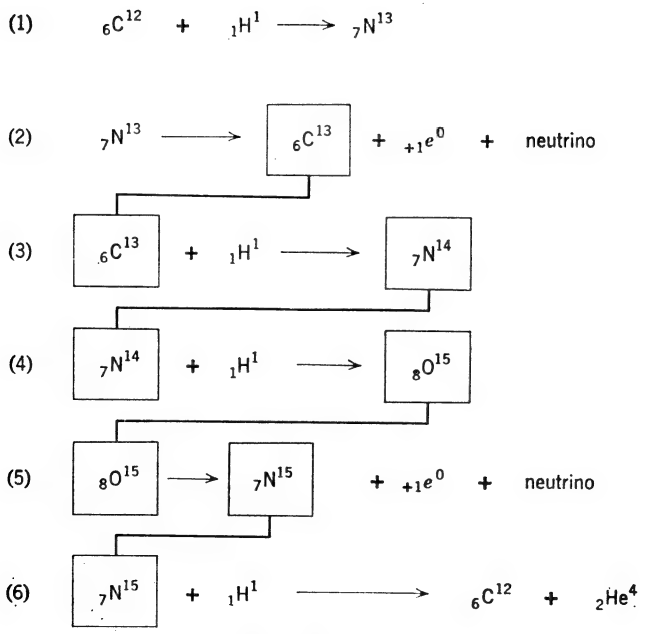
FIG-1 La energía de amarre por nucleón para isótopos que *existen en la naturaleza* en función del número de masa.

FIG-2 *Fisiones típicas del uranio-235*

$$
\begin{aligned}
{}_0n^1 + {}_{92}U^{235} &\rightarrow {}_{37}Rb^{97} + {}_{55}Cs^{137} + 2{}_0n^1 \\
{}_0n^1 + {}_{92}U^{235} &\rightarrow {}_{52}Te^{137} + {}_{40}Zr^{97} + 2{}_0n^1 \\
{}_0n^1 + {}_{92}U^{235} &\rightarrow {}_{54}Xe^{140} + {}_{38}Sr^{94} + 2{}_0n^1 \\
{}_0n^1 + {}_{92}U^{235} &\rightarrow {}_{57}La^{143} + {}_{35}Br^{87} + 6{}_0n^1 \\
{}_0n^1 + {}_{92}U^{235} &\rightarrow {}_{56}Ba^{141} + {}_{36}Kr^{92} + 3{}_0n^1
\end{aligned}
$$



Una gráfica de la fuerza neta que actúa sobre un protón conforme se acerca a otro protón. Los valores de fuerzas que se encuentran *arriba* del eje horizontal son positivas e indican repulsión; las fuerzas que se encuentran abajo del eje horizontal son de atracción. (Las distancias no están representadas a escala, de manera que las relaciones gráficas están un poco exageradas).



El ciclo del carbono

CUBIERTA PARA OCULTAR LAS RESPUESTAS

CONSTANTES FÍSICAS

Número de Avogadro:
$N_0 = 6.02 \times 10^{23}$

Velocidad de la luz en el vacío:
$c = 3 \times 10^8$ m/seg

Constante de Planck
$h = 6.63 \times 10^{-34}$ joule-seg

Carga del electrón:
$e = -1.6 \times 10^{-9}$ coulombs

Masa del electrón:
$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

Constante en la Ley de Coulomb:
$k = 9 \times 10^9$ N·m^2/coulomb^2

UNIDADES

1 joule $= 6.25 \times 10^{18}$ev
1 electrón volt $= 1.6 \times 10^{-9}$ joules
1 caloría $= 4.186$ joules
1 joule $= 0.24$ calorías
1 unidad de masa atómica (uma) $= 1.660 \times 10^{-27}$ kg $= 931$ Mev

ECUACIONES Y FÓRMULAS

Energía de un fotón:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Ecuación del efecto fotoeléctrico:

$$hf = E + W, \text{ donde } E = \tfrac{1}{2} mv^2$$

Equivalencia masa-energía:

$$E = mc^2$$

Masa relativista:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Momento lineal del fotón:

$$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

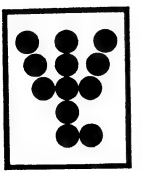
Longitud de onda de De Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

FISICA PROGRAMADA

Alexander Joseph y Daniel J. Leahy

VOLUMEN I: Mecánica
VOLUMEN II: Electricidad y Magnetismo
VOLUMEN III: Optica y Ondas
VOLUMEN IV: Teoría Cinética y Termodinámica
VOLUMEN V: Tópicos de Física Moderna



Serie Limusa de
LIBROS PROGRAMADOS

Versión autorizada en español de la obra
publicada en inglés por John Wiley & Sons,
bajo el título:

PROGRAMMED PHYSICS
Part V: *Topics in Modern Physics*

© 1967 by JOHN WILEY & SONS, INC., NEW YORK.

Versión española:

FIS. LORENZO RAZO MORALES
Investigador de la División de Química,
Investigación Científica Aplicada,
Instituto Mexicano del Petróleo.

Derechos reservados en lengua española:
© 1973, EDITORIAL LIMUSA, S. A.
Arcos de Belén Núm. 75, México 1, D. F.

Miembro de la Cámara Nacional de la
Industria Editorial, Registro Núm. 121

Primera edición: 1973

Impreso en México

(268)

Esta obra se terminó de imprimir el 12 de octubre de 1973, en los talleres de
Ediciones Flores Muñoz, Mar Jónico Núm. 26-5 México 17, D. F.
La edición consta de 3,000 ejemplares y sobrantes para reposición.

KE-85

EJEMPLAR № 1989

Obras afines

FISICA FUNDAMENTAL,
Segunda edición
Orear

MANUAL PROGRAMADO DE
FISICA FUNDAMENTAL
Orear

FUNDAMENTOS DE TERMODINAMICA
Van Wylen y Sonntag

FUNDAMENTOS DE FISICOQUIMICA
Maron y Prutton

FISICOQUIMICA
Eggers, Gregory, Halsey y Rabinovitch

EXPERIMENTOS DE FISICOQUIMICA
Uzquiza

FISICA
Parte 1 CINEMATICA Y DINAMICA
Parte 2 ENERGIA
Parte 3 ONDAS Y LUZ
Parte 4 ELECTROMAGNETISMO
Comité para la Enseñanza de la Física
(CEF)

He aquí el quinto volumen de la obra que ya se considera clásica porque fue el primer curso programado completo de Física de primer año de licenciatura o último año de bachillerato. La preparación de este programa tardó cuatro años y sus autores lo desarrollaron a través de un proceso de esmeradas y constantes revisiones, a base de los resultados obtenidos con los estudiantes de distintos cursos, al probar el programa en clase.

Este programa le permitirá al lector dominar los temas básicos de la Física, proporcionándole la información nueva en el orden correcto, para que la estudie al ritmo que mejor le convenga. Lo induce a participar activamente en el proceso del aprendizaje, contestando preguntas, resolviendo problemas y verificando inmediatamente sus respuestas.

La obra consta de cinco volúmenes que son: I, Mecánica; II, Electricidad y Magnetismo; III, Optica y Ondas; IV, Teoría Cinética y Termodinámica y V, Tópicos de Física Moderna.

Serie Limusa Wiley de
LIBROS PROGRAMADOS